

TUGAS AKHIR - TE 141599

Monitoring dan Identifikasi Kerusakan Secara
Realtime pada Motor BLDC dan Baterai Untuk
Aplikasi Kendaraan Skuter Listrik

Rizal Hardiyanto
NRP 07111440000018

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, S.T.,M.T.,Ph,D
Danar Fahmi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TE 141599

**Monitoring dan Identifikasi Kerusakan Secara
Realtime pada Motor BLDC dan Baterai Untuk
Aplikasi Kendaraan Skuter Listrik**

Rizal Hardiyanto
NRP 07111440000018

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, S.T.,M.T.,Ph,D
Daniar Fahmi, ST.,MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TE 141599

Monitoring and Identification of Realtime Fault on BLDC Motor and Battery for Electric Scooter Vehicles Applications

Rizal Hardiyanto
NRP 07111440000018

Supervisors
Dimas Anton Asfani, S.T.,M.T.,Ph,D
Daniar Fahmi, ST.,MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

**Monitoring dan Identifikasi Kerusakan Secara *Realtime*
pada Motor BLDC dan Baterai Untuk Aplikasi
Kendaraan Skuter Listrik**

TUGAS AKHIR

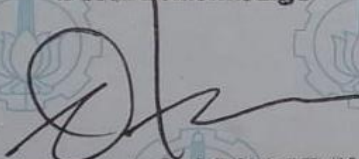
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 198109052005011002

Dosen Pembimbing II



Daniar Fahrul, S.T., M.T.
NIP. 198909252014041002

**SURABAYA
JANUARI, 2019**



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**MONITORING DAN IDENTIFIKASI KERUSAKAN SECARA *REALTIME* PADA MOTOR BLDC DAN BATERAI UNTUK APLIKASI KENDARAAN SKUTER LISTRIK**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Desember 2018

Nama Mahasiswa
07111440000018

Halaman ini sengaja dikosongkan

MONITORING DAN IDENTIFIKASI KERUSAKAN SECARA REALTIME PADA MOTOR BLDC DAN BATERAI UNTUK APLIKASI KENDARAAN SKUTER LISTRIK

Nama mahasiswa : Rizal Hardiyanto
Dosen Pembimbing I : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Daniar Fahmi, S.T., M.T

Abstrak:

Pada saat ini masyarakat sudah mulai beralih pada kendaraan listrik, selain ramah lingkungan juga hemat energi. Pada kendaraan skuter listrik memiliki dua komponen utama yaitu motor BLDC yang berfungsi sebagai penggerak dan baterai sebagai tempat penyimpanan energi. Oleh karena itu maka sebuah rancangan alat untuk memantau dan mendiagnosa motor tersebut agar tetap bekerja pada performanya, selain itu juga diperlukan alat untuk memantau dan mendiagnosis baterai tersebut. Tujuan dari perancangan alat ini adalah untuk mengoptimalkan penggunaan baterai, memonitoring dan mengidentifikasi gangguan atau kerusakan pada motor BLDC dan baterai yang digunakan pada kendaraan skuter listrik. Parameter yang digunakan adalah kecepatan, tegangan, arus, suhu dan kapasitas baterai. Selain itu juga untuk mengoptimalkan penggunaan baterai. Semua parameter diolah dengan menggunakan *Controller Area Network* (CAN) protokol yang nantinya akan ditampilkan dilayar *smartphone* android yang menampilkan kinerja maupun performa dari parameter tersebut dan memberikan peringatan jika terjadi gangguan maupun kerusakan. Yang pada akhirnya bertujuan untuk *support maintenance* dari kendaraan tersebut dan memudahkan pengguna mengidentifikasi gangguan maupun kerusakan yang terjadi pada kendaraan skuter listrik.

Key Word: (Baterai, BLDC, *Monitoring*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

Monitoring and Identification of Realtime Fault on BLDC Motor and Battery for Electric Scooter Vehicles Applications

Student Name : Rizal Hardiyanto
Supervisor I : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
Supervisor II : Daniar Fahmi, S.T., M.T

Abstract:

At this time the community has begun to switch to electric vehicles, besides being environmentally friendly and energy efficient. In electric scooter vehicles, there are two main components, namely BLDC motor which functions as a drive and battery as a storage place for energy. Therefore it is a device that can be used to diagnose the motor to keep working, but it is also needed to repair and repair the battery. The purpose of designing this tool is to process the battery, monitor and find out the interference or damage to the BLDC motorbike and the battery which at the same time occurs an electric scooter. The parameters used are speed, voltage, current, temperature and battery capacity. In addition to optimizing battery usage. All parameters are processed using the Controller Area Network (CAN) which will be tracked on an android smartphone that can display performance and parameters from and provide information in the event of interference or damage. Which is ultimately intended to support the maintenance of these vehicles and make it easier for users to find disturbances that fault in electric scooter vehicles.

Key Word: (Battery, BLDC, Monitoring)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

“MONITORING DAN IDENTIFIKASI KERUSAKAN SECARA *REALTIME* PADA MOTOR BLDC DAN BATERAI UNTUK APLIKASI KENDARAAN SKUTER LISTRIK”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak Dimas Anton Asfani, S.T, M.T., Ph D. dan Bapak Daniar Fahmi, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Saudara M. Ridwan, S.T., M.T., dan M Agus, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan arahan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh pihak yang terlibat dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga sedemikian rupa.

Semoga kebaikan yang telah diberikan oleh Bapak/Ibu, Saudara/i mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis berharap, semoga karya tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membutuhkan khususnya bagi kalangan mahasiswa yang mengambil jurusan Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selanjutnya penulis pun menyadari, bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga koreksi dan masukan dari pembaca sangat diperlukan bagi kemajuan penulis.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	v
TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Motor BLDC	7
2.2 Prinsip Kerja Motor BLDC	9
2.3 Baterai	10
2.4 Rugi dan Efisiensi Baterai	12
2.5 Baterai Pack GESITS	13
2.6 Ballancing Cell	14
2.7 Self Protection <i>Baterai</i>	15
2.8 Controller Area Network (CAN)	15
2.9 Komunikasi Data Serial	16
2.10 <i>Class Insulation Motor</i>	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Perencanaan Sistem	19
3.2 Modul BMS (Baterai Menejemen Sistem)	19

3.2.1	<i>Master Board</i>	20
3.2.2	<i>Slave Board</i>	27
3.3	Komunikasi Data CAN	31
3.4	Modul <i>Bluetooth</i> HC-05	32
3.5	Perancangan Software	33
3.5.1	Qt Creator	33
3.5.2	Terminal V1.9	34
3.6	Skema Pengujian	35
3.6.1	Pengujian Perbandingan Alat Ukur dengan Sensor Sistem	35
3.6.2	Test Performansi	36
3.6.3	Pengujian Test Drive	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pengujian dengan Alat Ukur	39
4.1.1	Hasil Pengujian <i>Pack Current</i> dengan <i>Clampmeter</i>	39
4.1.2	Hasil Pengujian <i>Pack Voltage</i> dengan <i>Avometer</i>	41
4.1.3	Hasil Pengujian RPM dengan <i>Dynotest</i>	43
4.2	Hasil Monitoring dengan Pengujian Menggunakan <i>Dynotest</i>	45
4.2.1	Hasil Monitoring Arus Baterai	46
4.2.2	Hasil Monitoring <i>Pack Voltage</i>	47
4.2.3	Hasil Monitoring <i>Cell Voltage</i>	49
4.2.4	Hasil Monitoring Daya Baterai	51
4.3	Hasil Monitoring dengan Pengujian Menggunakan <i>Test Drive</i>	52
4.3.1	Hasil monitoring SOC (<i>State of Charge</i>)	52
4.3.2	Hasil Monitoring Temperatur Baterai	56
4.3.3	Analisa Perbandingan SOC dengan Temperatur	57
4.3.4	Hasil Monitoring Temperatur Motor	58

4.3.5	Analisa Perbandingan Temperatur Motor dengan RPM.	60
4.4	Konsumsi Energi	61
	BAB 5 KESIMPULAN.....	65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran	66
	DAFTAR PUSTAKA	67
	LAMPIRAN.....	69
	BIODATA PENULIS	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Metode Tugas Akhir	4
Gambar 2. 1 Motor <i>Brushless DC</i> [5].....	7
Gambar 2. 2 Perbandingan <i>Back-EMF</i> BLDC dan PMSM	8
Gambar 2. 3 Motor <i>Brushless DC inrunner</i> dan <i>Outrunner</i>	9
Gambar 2. 4 <i>State of Charge</i>	11
Gambar 2. 5 Perbandingan efisiensi dan <i>State of Charge</i>	12
Gambar 2. 6 Cell Battery dan Susunan Satu Pack Baterai.....	13
Gambar 2. 7 Ilustrasi Sistem Kerja CAN	16
Gambar 2. 8 Tampilan GUI Monitoring.....	34
Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem.....	19
Gambar 3. 2 Rangkaian Modul BMS	20
Gambar 3. 3 Minimum Sistem STM32F405RGT7	22
Gambar 3. 4 <i>Voltage Divider</i>	22
Gambar 3. 5 Rangkaian Pengkondisian Sinyal Thermistor	23
Gambar 3. 6 Modul <i>Voltage Regulator</i>	24
Gambar 3. 7 Rangkaian CAN BMS	25
Gambar 3. 8 Modul MRAM.....	26
Gambar 3. 9 Modul High Voltage Sensing	26
Gambar 3. 10 Modul Main Contactor Control dan FAN Control.....	27
Gambar 3. 11 Modul LTC Pengukur Tegangan per Cell.....	28
Gambar 3. 12 RC Filter BMS.....	29
Gambar 3. 13 Rangkaian 1 Cell Passive Balancing Menggunakan Mosfet	29
Gambar 3. 14 Modul Opto Isolator.....	30
Gambar 3. 15 Komunikasi Data CAN.....	31
Gambar 3. 16 Rangkaian CAN.....	32
Gambar 3. 17 Modul <i>bluetooth</i> HC-05.....	32
Gambar 3. 18 Menu Text Editor pada software Qt Creator.....	33
Gambar 3. 19 Software Terminal V1.9	34

Gambar 3. 20 Skema Pengujian Perbandingan Alat Ukur dengan Sensor Sistem	35
Gambar 3. 21 Skema Pengujian Dyno Test	36
Gambar 3. 22 Pengujian Test Drive	37
Gambar 4. 1 Pengukuran <i>Clampmeter</i>	40
Gambar 4. 2 Hasil Monitoring Perbandingan Arus	40
Gambar 4. 3 Pengukuran Avometer	42
Gambar 4. 4 Hasil Monitoring Perbandingan Tegangan	42
Gambar 4. 5 Pengukuran <i>Dynotest</i>	44
Gambar 4. 6 Hasil Monitoring Perbandingan RPM	44
Gambar 4. 7 Monitoring Arus	47
Gambar 4. 8 Monitoring Tegangan	48
Gambar 4. 9 Perbandingan Tegangan dengan Arus Baterai	49
Gambar 4. 10 Hasil Monitoring <i>Cell Voltage</i>	49
Gambar 4. 11 <i>Interface Cell Voltage</i>	50
Gambar 4. 12 <i>Unbalance Cell Battery</i>	51
Gambar 4. 13 Monitoring Daya Baterai.....	51
Gambar 4. 14 Perbandingan Daya dan Kapasitas Baterai	52
Gambar 4. 15 Hasil Monitoring <i>SOC Base on Voltage</i>	53
Gambar 4. 16 Grafik Arus Saat <i>Discharge</i>	54
Gambar 4. 17 perbandingan kapasitas sisa dan konsumsi energi	54
Gambar 4. 18 Perbandingan Energi yang disuplai dan Perhitungan SOC	55
Gambar 4. 19 Gambar Perbandingan <i>SOC base on voltage</i> dan Perhitungan SOC	55
Gambar 4. 20 Hasil Temperatur Baterai	57
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Temperatur dengan SOC	58
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Temperatur dengan SOC diperbesar	58
Gambar 4. 23 Monitoring Temperatur Motor	59
Gambar 4. 24 Perbandingan Temperatur Motor dan RPM	60
Gambar 4. 25 Perbandingan Temperatur Motor dan RPM diperbesar	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Baterai Li-Ion NCR18650PF [7].....	14
Tabel 2. 2 Kelas Isolasi [9]	17
Tabel 4. 1 Perbandingan Eror Pembacaan Arus	41
Tabel 4. 2 Perbandingan Eror Pembacaan Tegangan	43
Tabel 4. 3 Perbandingan Eror Pembacaan RPM.....	45
Tabel 4. 4 Hasil Monitoring Arus Baterai	46
Tabel 4. 5 Monitoring Pack Voltage.....	47
Tabel 4. 6 Monitoring SOC	52
Tabel 4. 7 Monitoring Temperatur Baterai Pack 1	56
Tabel 4. 8 Monitoring Temperatur Baterai Pack 2	56
Tabel 4. 9 Monitoring Temperatur Motor	59
Tabel 4. 10 Pengujian Konsumsi Energi	62
Tabel 4. 11 Harga Bahan Bakar Minyak (BBM).....	62
Tabel 4. 12 Perbandingan GESITS dengan Motor Konvensional	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persoalan tentang penghematan energi semakin terasa pada saat ini. Salah satu hal yang menarik adalah tentang mengurangi konsumsi energi dan polusi, berubahnya pola pikir masyarakat sekarang ini mengenai konsumsi bahan bakar yang rendah dan ramah lingkungan. Realisasi kendaraan listrik atau hibrida bisa memecahkan permasalahan tersebut namun belum jika efisiensinya masih rendah.[1] Perkembangan mengenai teknologi motor brush Less DC (BLDC) membuat macam dari aplikasi motor ini semakin variatif. Motor BLDC juga diaplikasikan pada kendaraan bermotor. Pemilihan motor BLDC digunakan untuk penggerak kendaraan listrik karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan motor yang lain, diantaranya memiliki daya yang besar, efisiensi yang tinggi, range kecepatan yang besar dengan daya yang konstan, torsi yang besar pada kecepatan rendah, torsi yang besar, momen inersia yang kecil, tangguh, pengaturan yang presisi dan biaya produksi yang sebanding dengan keandalannya.[2]

Indonesia merupakan salah satu negara yang sudah mulai beralih dari kendaraan berbahan bakar menuju kendaraan listrik yang ramah lingkungan. Hal tersebut sangatlah didukung oleh ITS yang notabennya perguruan tinggi yang bergerak dibidang tersebut, dimana ITS telah berhasil meluncurkan hasil riset berupa Motor Listrik dengan nama Garasindo Electric Scooter ITS (GESITS). Sekuter listrik GESITS memiliki keunggulan diataranya stabilitas kendaraan, desain yang menarik, baterai removable sehingga mudah penggantian selama perjalanan dan performa baterai dan motor listrik dipantau menggunakan smartphone berbasis android.

Dengan adanya sebuah inovasi yang digagas oleh anak bangsa harapannya dapat membantu beberapa sektor dari permasalahan pemerintah terhadap penghematan energi dan penanggulangan emisi karbon dari kendaraan berbahan bakar fosil. Untuk memantau secara realtime penggunaan bahan bakar dari kendaraan tersebut dibutuhkan alat yang dapat mendiagnosa keefektifitas penggunaan energi, dan selain itu juga perlunya pemantauan dari kinerja dari motor penggerak kendaraan listrik tersebut. Untuk mengantisipasi hal tersebut, saya membuat rancangan alat diagnosis secara realtime motor BLDC dan baterai pada

kendaraan sekuter listrik, sehingga dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui performa dari kendaraan sekuter listrik yang dimiliki.

1.2 Permasalahan

Kendaraan listrik memang tidak terlalu memerlukan pemeliharaan yang sangat mendetail seperti kendaraan berbahan bakar minyak pada umumnya, namun sekuter listrik ini memerlukan diagnosa dari kelistrikan agar mengetahui kinerja maupun performa dari motor listrik BLDC, selain itu juga bertujuan untuk mengetahui kualitas maupun usia motor listrik yang digunakan. Diagnosa pada baterai juga penting adanya karena agar dapat mengetahui konsumsi energi dari motor listrik ini. Maka dari itu saya membuat rancangan alat diagnosa pada kedua peralatan pada motor listrik tersebut untuk kenyamanan dan pemeliharaan pengguna agar kendaraan listriknya bisa terawat dengan baik.

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk

1. Memantau dan mengidentifikasi kerusakan secara *real time* motor BLDC pada kendaraan sekuter listrik.
2. Memantau dan mengidentifikasi kerusakan secara *realtime* baterai pada kendaraan sekuter listrik.
3. Mengetahui Konsumsi energi kendaraan listrik

1.4 Batasan Masalah

1. Baterai yang digunakan Merupakan Li Ion Panasonic NCR18650PF
2. Tidak membahas detail perancangan desain BMS
3. Motor yang digunakan Motor Gesits 5kW
4. Kendaraan listrik yang digunakan GESITS

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur ini merupakan pengumpulan data-data serta dasar teori yang berasal dari buku, website, ataupun jurnal. Materi yang diperoleh digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian tugas akhir. Bahan dari materi ini meliputi bidang prinsip kerja dari motor BLDC, tentang baterai, mikrokontroler, desain komponen, elektronika daya, rangkaian elektronika, kontrol cerdas, teknik antarmuka komputer, dan bidang lain yang berkaitan dengan penyelesaian tugas akhir ini.

2. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan program, meliputi penyusunan algoritma sistem mulai saat pembacaan sensor rotary encoder yang diletakkan di disc brake rem roda berfungsi sebagai penentu on/off motor BLDC

3. Pengimplementasian Alat

Pada tahap ini dilakukan pembuatan perangkat keras (*hardware*), seperti rangkaian sensor arus, sensor tegangan, sensor kecepatan, pwm to DAC dengan filter RC, komunikasi bluetooth, selain itu dilakukan pembuatan program pada arduino dengan menggunakan bahasa C sesuai dengan algoritma yang telah disusun pada tahap sebelumnya.

4. Pengambilan Data dan Pengujian Alat

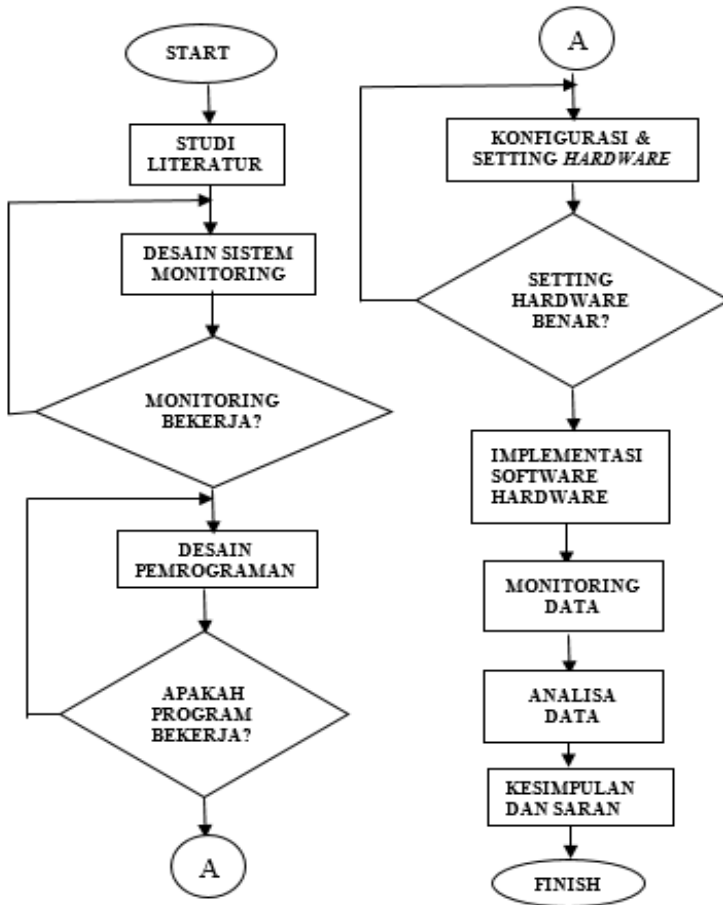
Pada tahap ini dilakukan pengambilan data dari tiap rangkaian yang telah dibuat dan selanjutnya dilakukan uji coba perangkat untuk mengetahui performa dari perangkat keras yang telah dibuat serta melakukan perbaikan apabila terjadi kesalahan pada perangkat keras.

5. Analisa Data

Setelah dilakukan beberapa pengujian dan perbaikan sistem, diperoleh sistem yang memiliki unjuk kerja yang sesuai dengan target. Analisa dapat dilakukan terhadap data-data yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan.

6. Kesimpulan

Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dilakukan.



Gambar 1. 1 Metode Tugas Akhir

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

- Bab 1 : Pendahuluan
Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.
- Bab 2 : Tinjauan Pustaka
Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.
- Bab 3 : Perancangan dan Pemodelan
Bab ini membahas mengenai metode pengambilan data yang akan disajikan pada bab 4
- Bab 4 : Simulasi dan Analisis
Bab ini membahas hasil analisis dari pengambilan data yang sesuai dengan metode pada bab 3
- Bab 5 : Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Diharapkan dari Tugas Akhir ini mendapatkan hasil yang dapat bermanfaat dan bisa digunakan sebagai referensi pada analisa selanjutnya.

1. Institusi: Tugas akhir ini membantu mahasiswa untuk mampu melakukan desain monitoring dan identifikasi kerusakan motor BLDC dan baterai pada kendaraan skuter listrik. Sehingga di masa mendatang dapat dikembangkan sebagai keterampilan yang dimiliki oleh mahasiswa.
2. Bidang Ilmu Pengetahuan :Tugas akhir ini membantu pengembangan bidang transportasi, khususnya pada kendaraan listrik. Sehingga di masa mendatang dapat diimplementasikan dan dikembangkan lebih baik lagi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

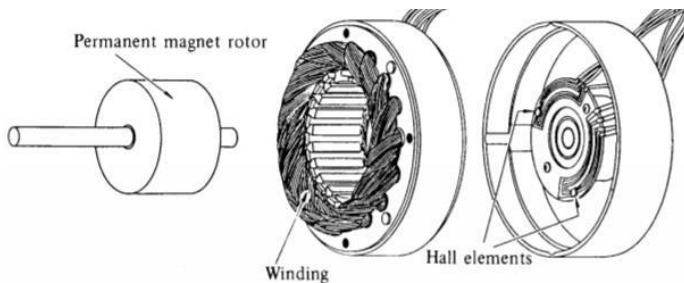
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Motor BLDC

Motor BLDC merupakan salah satu jenis motor DC, seperti namanya motor BLDC adalah motor DC yang tanpa sikat. Motor BLDC menggunakan komutasi elektrik untuk *switching* arus yang bertujuan sebagai pengganti sikat (*brushes*). Motor BLDC memiliki beberapa kelebihan diantara lain :

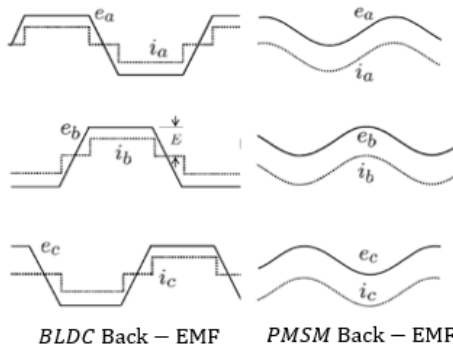
- Memiliki efisiensi dan keandalan yang lebih baik
- Suara kebisingan yang sangat kecil
- Ukuran dimensi lebih kecil dan ringan
- Karakteristik dari kecepatan vs torsi lebih baik
- Lingkup kecepatan lebih besar
- Masa umur yang panjang [3]

Dari berbagai kelebihan diatas motor BLDC banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari seperti untuk peralatan rumah tangga, industri maupun motor penggerak pada robot. Pada motor BLDC terdapat *hall effect sensor* yang berfungsi untuk mengetahui posisi rotor. Pada dasarnya motor BLDC mempunyai prinsip yang sama dengan motor DC konvensional namun terdapat perbedaan pada statornya memiliki belitan tiga fasa dan rotornya memiliki kutub magnet.[4] Hal ini menyebabkan motor BLDC dikatakan mirip dengan motor sinkron AC magnet permanen tetapi motor BLDC memiliki *back electromotive force (BEMF)*.



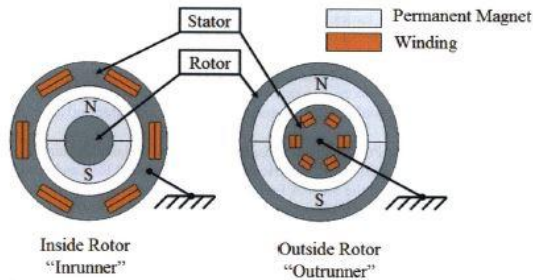
Gambar 2. 1 Motor *Brushless DC* [5]

BEMF pada motor BLDC berbentuk trapezoid sedangkan pada motor sinkron AC berbentuk sinusoidal. Meskipun demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dikendalikan dengan metode *six-step* maupun metode PWM sinusoidal. Dibandingkan dengan motor DC, motor BLDC memiliki keunggulan yaitu biaya untuk perawatan lebih murah dan kecepatan yang lebih tinggi karena tidak ada gesekan di *brush*. Walaupun memiliki kelebihan tersebut dibandingkan dengan motor induksi, motor BLDC memiliki pengendalian yang lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan karena tidak adanya *brush* yang menunjang proses komutasi. Komutasi tanpa kontak secara mekanis (*brush*) tercipta karena adanya rangkaian inverter yang terhubung dengan kumparan stator sehingga tidak diperlukan sikat pada motor untuk melakukan komutasi. Pengendalian kecepatan serta arah rotasi motor dapat dikendalikan melalui rangkaian kontrol dan sensor posisi rotor (*hall effect sensor*).[6]



Gambar 2. 2 Perbandingan *Back-EMF* BLDC dan PMSM

Pada motor BLDC terdapat 2 bagian utama yaitu stator dan rotor, bagian stator adalah bagian yang statis dari motor yang terdiri dari kumparan jangkar, sedangkan rotor adalah bagian motor yang bergerak dan terdapat magnet permanen. Pada motor BLDC terdapat 2 jenis rotor yaitu *inrunner* dan *outrunner*, hal ini dibedakan berdasarkan peletakan rotor.



Gambar 2. 3 Motor *Brushless* DC *inrunner* dan *Outrunner*

Motor jenis *inrunner* letak stator yang merupakan slot-slot yang berisikan kumparan berada dibagian luar dari permanen magnet yang berputar dibagian dalam motor. Untuk motor jenis *outrunner* letak stator terdpat pada bagian dalam rotor, sehingga rotor berputar mengelilingi belitan stator. Pada umumnya, motor jenis *outrunner* menghasilkan torsi yang lebih besar pada kecepatan lebih rendah karena magnet permanen lebih banyak.

2.2 Prinsip Kerja Motor BLDC

Pada motor BLDC terdapat magnet elekrtris pada stator dan magnet permanen pada rotor. Kumparan stator dialiri arus DC sehingga menimbulkan medan magnet (B):

$$B = \frac{\mu NI}{2l}$$

Dimana :

B = Medan magnet

μ = Permeabelitas bahan

N = Jumlah belitan

I = arus

l = panjang lilitan

Kumparan stator yang teraliri oleh arus nilainya berubah-ubah disetiap fasanya, sehingga menyerupai sumber tiga fasa. Hal tersebut mengakibatkan nilai medan magnet pada setiap kumparan berubah secara

teratur. Sehingga terjadi tarik menarik antara magnet elektris dan magnet permanen secara teratur. Gaya tarik menarik tersebut mengakibatkan berputar. Perhitungan kecepatan putar rotor sebagai berikut

$$ns = \frac{120f}{p}$$

Dimana:

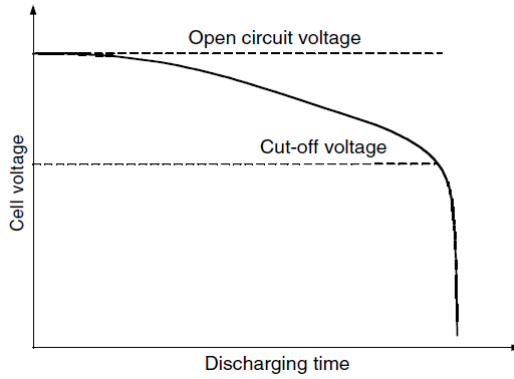
f = Frekuensi arus input stator

P = jumlah kutub dari stator

2.3 Baterai

Baterai merupakan media penyimpanan energi elektrik, baterai memiliki densitas energi dan daya yang besar untuk memenuhi kebutuhan kendaraan. Pada baterai jenis elektrokimia mengubah energi kimia ke energi listrik dan sebaliknya pada proses *discharge*. Untuk saat ini baterai yang cocok untuk sistem propulsi adalah jenis baterai dari *lithium*, seperti *lithium ion* dan *lithium polymer*, juga dari nikel, seperti Ni-Cd dan Ni-MH.

Kapasitas dari baterai berdasarkan pada *coulometric capacity* yaitu *ampere-hours*. Kapasitas baterai merupakan *ampere-hours* yang dihasilkan baterai dari keadaan terisi penuh sampai ke *cut-off voltage*, seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Efisiensi dari baterai merupakan suatu hal yang penting untuk penghematan energi dalam kendaraan listrik. Dengan perawatan yang baik, efisiensi baterai mampu mencapai 94%, namun jika efisiensi baterai turun 1% maka dapat mengakibatkan meningkatnya konsumsi energi sebesar 10%-40%. Jika terjadi penurunan efisiensi sebesar 3% maka kendaraan listrik secara ekonomis sudah tidak layak digunakan.



Gambar 2. 4 *State of Charge*

State of charge (SOC) merupakan parameter penting yang pada baterai, dimana perbandingan antara kapasitas tersisa dengan kapaaasitas penuh. Keadaan penuh adalah ketika 100% dan keadaan kosong adalah 0%, tetapi kapasitas baterai dapat berubah sesuai dengan arus *discharge* dan *cut-off voltage* yang berada tidak di SOC 0%. Perubahan SOC berdasarkan interval waktu, dt , dibandingkan dengan arus i dapat dirumuskan sebagai:

$$\Delta SOC = i \frac{dt}{Q(i)}$$

$Q(i)$ merupakan kapasitas *ampere-hours* pada arus tertentu. Pada saat *discgharge*, i adalah positif dan begitu juga sebaliknya saat *charge*, sehingga SOC dapat didefinisikan sebagai berikut: SOC_0

$$SOC = SOC_0 - \int i \frac{dt}{Q(i)}$$

SOC_0 merupakan nilai awal dari SOC .

Pada kendaraan listrik kapasitas energi lebih dibutuhkan daripada kapasitas *coulometric* (Ahs), karena langsung mempengaruhi secara langsung operasional kendaraan. Energi yang dihantarkan oleh baterai dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$EC = \int_0^t V(i, SOC)i(t)dt$$

$V(i, SOC)$ adalah tegangan terminal baterai.

Untuk tetap menjaga efisiensi baterai, dan untuk melakukan pengaturan beban yang optimal, baterai perlu dijaga pada kondisi 100%-20% SOC. Pada kondisi baterai telah mencapai 20% SOC perlu dilakukan pengisian ulang. Secara teoritis pengisian daya baterai dapat mencapai 100% apabila *discharge* menggunakan arus yang sangat rendah (*ultra-low current*), namun kenyataannya baterai diasumsikan 100% ketika sudah mencapai 97%.

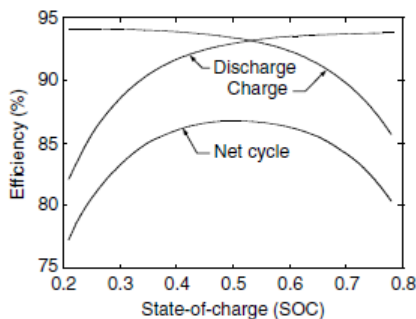
2.4 Rugi dan Efisiensi Baterai

Rugi daya (*power losses*) pada saat *charge* maupun *discharge* dinyatakan dalam bentuk rugi tegangan (*voltage loss*). Efisiensi baterai dapat ditentukan dengan cara perbandingan dari tegangan berbeban dengan tegangan tanpa beban. Persamaan efisiensi baterai pada saat *discharge* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V}{V_0}$$

dan persamaan pada saat *charge* adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V_0}{V}$$



Gambar 2. 5 Perbandingan efisiensi dan *State of Charge*

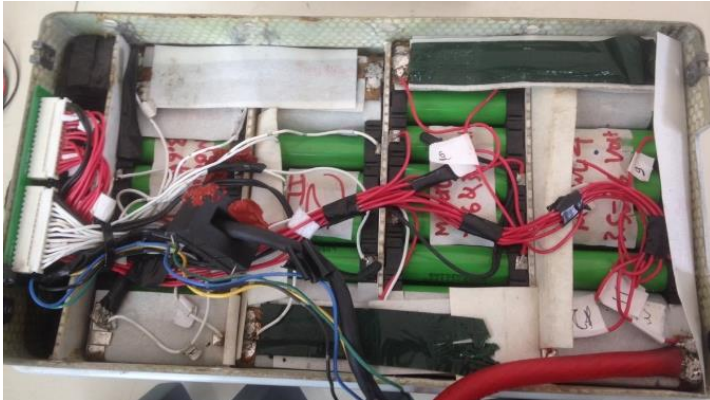
Tegangan terminal dari baterai dimana ketika *discharge* akan lebih rendah dan ketika *charge* akan lebih tinggi dibandingkan dengan potensial elektrik yang dihasilkan ketika reaksi kimia terjadi. Pada saat

SOC dikeadaan kondisi tinggi, maka baterai memiliki efisiensi *discharge* yang tinggi juga. Dimana ketika saat SOC dikeadaan kondisi rendah, maka baterai memiliki efisiensi *charge* yang tinggi juga. Titik maksimum dari efisiensi bersih (*net efficiency*) berada pada kisaran 50% SOC, oleh karena itu sistem kontrol baterai pada sistem kendaraan listrik sebaiknya menempatkan SOC baterai pada kisaran tengahnya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kenaikan temperature yang diakibatkan rugi energi.

2.5 Baterai Pack GESITS

Pada motor GESITS terdapat baterai dengan jenis baterai Li-Ion dengan tipe NCR18650PF. Spesifikasi baterai Li-Ion pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2.2.

Pada baterai *pack* terdapat 240 biji baterai. Dengan penyusunan 10 baterai paralel, yang mana 1 rangkaian 10 baterai paralel tersebut disebut 1 *cell*. Pada baterai *pack* terdapat 24 *cell* yang disusun secara seri. Pada gambar berikut ini merupakan tampilan dari baterai pack dari GESITS.



Gambar 2. 6 Cell Battery dan Susunan Satu Pack Baterai

Tabel 2. 1 Spesifikasi Baterai Li-Ion NCR18650PF [7]

Rated capacity ⁽¹⁾	Min. 2700mAh
Capacity ⁽²⁾	Min. 2750mAh Typ. 2900mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1375mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.0 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density ⁽³⁾	Volumetric: 577 Wh/l Gravimetric: 207 Wh/kg

2.6 Ballancing Cell

Sebuah baterai pack terdiri dari susunan cell baterai, baik dalam seri maupun parallel. Setiap cell baterai memiliki hambatan internal yang bervariasi sehingga tegangan cell baterai berpotensi tidak sama dengan tegangan cell yang lain. Kondisi ini akan semakin buruk apabila dibiarkan terus menerus, yang akan menyebabkan tegangan cell terendah akan terkalahkan pada baterai pack tersebut. Apabila salah satu cell pada baterai pack tersebut bermasalah maka performa baterai pack tersebut akan tidak optimal. Untuk menghindari ketidak seimbangan tegangan antar cell maka diperlukan BMS. BMS berfungsi melakukan pengukuran tegangan setiap cell, membandingkan dan melakukan balancing terhadap cell yang terlalu besar tegangannya. Cell yang memiliki tegangan yang lebih besar maka akan dibuang melalui discharge Resistor, besar power yang dibuang disesuaikan dengan kapasitas baterai pack tersebut. Sehingga BMS memiliki kemampuan Balancing yang sesuai dengan kapasitas baterai pack.

2.7 Self Protection Baterai

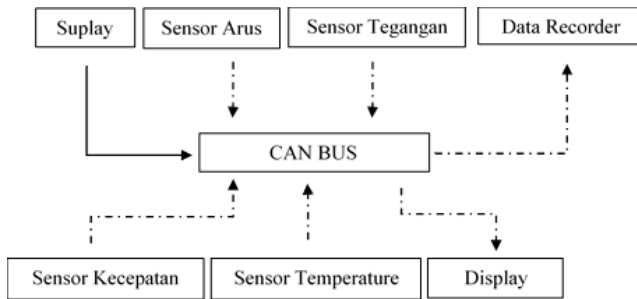
Baterai pack perlu diproteksi terhadap over discharge, over charging dan over temperatur. Untuk itu BMS dilengkapi dengan *Current Measurement*, *Voltage Measurement* dan *Temperature Measurement*. Discharge rate Lithium Ion battery berdasarkan information sheet adalah 2C artinya apabila baterai berkapasitas 5 KWH secara aman dapat digunakan untuk mensupply power sebesar 10KW.

Protection terhadap over Charging yaitu memutus Charger dengan mengirimkan perintah melalui komunikasi CAN. Baterai Lithium Ion memiliki tegangan maksimum 4.2 Volt, sehingga apabila salah satu cell pada baterai pack tersebut sudah mencapai 4.2 Volt maka Charger diputus oleh BMS. Melalui metode Auto Cut ini akan lebih memudahkan pengguna dalam mengoperasikan GESITS. Pengguna tidak perlu menunggu saat melakukan Charging.

Protection terhadap over temperature dilakukan dengan memantau temperatur baterai pack secara realtime. Baterai Lithium ion beroperasi secara normal pada temperatur 60°C, sehingga saat kondisi baterai pack pada range 50-60 °C maka BMS mengirimkan perintah pada Controller untuk membatasi arus dan menyalakan fan (apabila diperlukan). Apabila temperature melebihi 60 °C maka Main Contactor dimatikan oleh BMS.

2.8 Controller Area Network (CAN)

Controller Area Network (CAN) merupakan protokol komunikasi bus serial yang dikembangkan oleh Bosch (produsen peralatan listrik di Jerman) pada awal 1980-an. Hingga sekarang CAN dijadikan standar protokol pada kendaraan pada industri otomotif. Awalnya industri otomotif, menggunakan pengendali yang berdiri sendiri untuk mengelola berbagai aktuator dan subsistem elektromekanik. CAN meringkas semua jaringan elektronik kendaraan dapat dikontrol dari titik pusat yaitu *Electrical Control Unit (ECU)* sehingga meningkatkan fungsi, mudulasi dan efisiensi. CAN merupakan protokol komunikasi yang efisien antara sensor, aktuator, pengendali, dan simpul lain dalam aplikasi waktu nyata, dan dikenal karena kemudahan, keandalan, dan kinerjanya yang tinggi.



Gambar 2. 7 Ilustrasi Sistem Kerja CAN

CAN merupakan topologi bus, dan hanya membutuhkan dua kabel untuk komunikasi melalui CAN bus. Bus memiliki struktur multimaster di mana setiap perangkat di bus dapat mengirim atau menerima data. Hanya satu perangkat yang dapat mengirim data kapan saja sedangkan yang lain menerima. Jika dua atau lebih perangkat mencoba mengirim data pada saat yang bersamaan, perangkat yang memiliki prioritas utama dapat mengirim datanya. [8] Untuk pengaplikasian pada kendaraan terdapat lebih dari satu CAN bus, dan mereka beroperasi pada kecepatan yang berbeda. Terdapat beberapa perangkat yang bekerja yang lambat yaitu seperti kontrol pintu, kontrol iklim, dan modul informasi *driver* dapat dihubungkan ke *bus* kecepatan lambat. Sedangkan ada beberapa yang membutuhkan respon yang cepat yaitu seperti *antilock braking system* (ABS), modul kontrol transmisi, dan modul *throttle* elektronik, terhubung ke *bus* kecepatan cepat.

2.9 Komunikasi Data Serial

Komunikasi data serial merupakan proses pengiriman data secara serial yaitu data dikirim secara satu persatu secara berurutan, sehingga komunikasi ini lebih lambat daripada komunikasi paralel. Kelebihan komunikasi ini harganya lebih murah dan dapat menghubungkan kedua perangkat yang jauh. Komunikasi serial dapat bekerja secara optimal jika data byte harus diubah kedalam bit-bit serial menggunakan perangkat yang disebut shift register paralel-in serial-out, kemudian data dikirim dengan satu jalur saja. Pada sisi penerima data bi-bit serial itu juga diubah menjadi byte yang sama persis seperti data semula.

Komunikasi data serial terdapat dua metode, metode synchronous dan asynchronous. Metode synchronous mengirimkan datanya langsung beberapa byte atau karakter. Sementara metode asynchronous data dikirim satu byte setiap pengiriman. Metode ini dapat digunakan dengan memilih lewat di programnya. Namun sekarang ini proses pengiriman data dibutuhkan sebuah chip tersendiri. Salah satu chip tersebut adalah UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) dan satunya lagi disebut USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter).

Kecepatan transfer data komunikasi data serial diukur dalam satuan BPS (bits persecond) atau yang biasa dikenal dengan *baud rate*. Namun Baud dan bps tidak serta merta adalah sama. Hal ini mengacu kepada fakta bahwa baud rate adalah perubahan sinyal dalam satuan bit sinyal per detik. Sedangkan data transfer rate penamaanya mengacu pada jumlah bit dari byte data yang ditransfer setiap detik. Sementara itu kecepatan transfer data (data transfer rate) pada komputer tergantung pada jenis komunikasi yang diberlakukan atasnya.

2.10 Class Insulation Motor

Keterangan mengenai *insulation class* merupakan yang menjelaskan mengenai seberapa baik kemampuan isolasi yang digunakan pada kawat gulungan (*winding*) suatu motor listrik terhadap perubahan atau kenaikan suhu. Dimana kelas isolasi merupakan dimana toleransi terhadap suhu pada *winding*. Berdasarkan NEMA terdapat beberapa kelas diantaranya terdapat pada gambar 2.8.

Tabel 2. 2 Kelas Isolasi [9]

NEMA Motor Insulation Temperature Ratings		Temperature Rises			
		1.0SF Motors			1.15SF Motors
Class	Temp.	Ambient	Hotspots	Rise@1.0	Rise@1.15
A	105	+40	+5	60	70
B	130	+40	+10	80	90
F	155	+40	+10	105	115
H	180	+40	+15	125	not defined

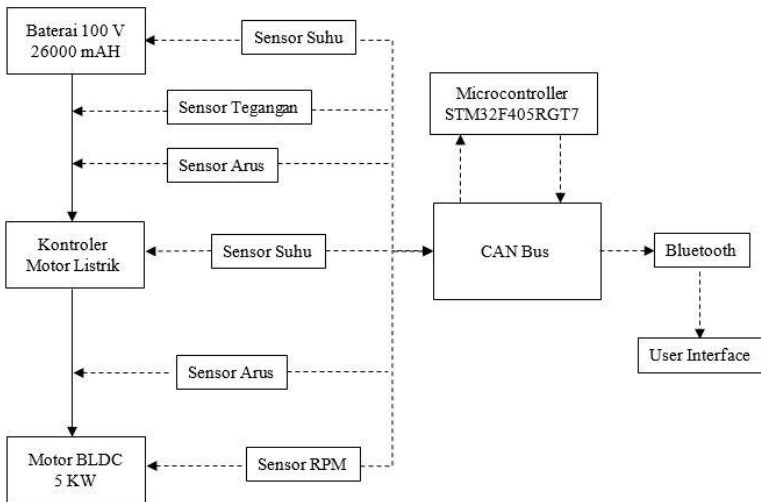
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perencanaan Sistem

Setelah mempelajari studi literatur yang sudah ada, selanjutnya melakukan perencanaan sistem. Pada perencanaan sistem terdiri dari beberapa perangkat seperti *bluetooth* yang mengirimkan sinyal kepada interface, dimana fungsi dari interface itu sendiri adalah untuk menampilkan data yang terukur agar bisa dibaca oleh pengguna. Objek uji dari kendaraan GESITS diantaranya adalah baterai dan motor BLDC. Pada baterai dipasang beberapa sensor seperti sensor suhu, sensor arus, sensor tegangan. Pada motor BLDC terpasang beberapa sensor juga diantaranya sensor RPM dan sensor Suhu. Blok diagram dari perencanaan sistem dapat dilihat dari gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem

3.2 Modul BMS (Baterai Manajemen Sistem)

Pada modul BMS terdapat beberapa sensor yang terpasang. Di BMS terdapat 2 board yaitu *master board* dan *slave board*. Serta terdapat 1

board auxiliary untuk slot CAN ke USB. Pada gambar 3.2 berikut merupakan modul BMS yang terdiri dari berbagai rangkaian.



Gambar 3. 2 Rangkaian Modul BMS

Berikut Spesifikasi BMS GESITS up to 24 cell Baterai :

- Dapat digunakan untuk baterai Lithium yang disusun secara seri maksimal 24 cell baterai yang diseri.
- Jumlah Minimum Baterai pack sebanyak 8 cell yang diseri.
- Dapat digunakan untuk baterai pack dengan range tegangan 22.4 – 100,8 Volt DC.
- Menggunakan Delta Sigma Analog to Digital Converter 12 bit, sehingga memiliki resolusi pengukuran tegangan 1.5 mV.
- Total error pengukuran tegangan 0.25% atau senilai 0.1 mV maksimum senilai 1 mV.
- Resolusi pengukuran temperature mencapai 0.02°C.
- Memiliki resolusi pengukuran arus maksimal 0.075 Ampere, dengan menggunakan sensor arus berstandar otomotif.
- Menggunakan komunikasi standard otomotif yaitu CAN Bus Serial.

3.2.1 Master Board

Master board merupakan *main controller* dari BMS yang berfungsi untuk mengolah data dan mengakuisisi data dan menampilkan hasil

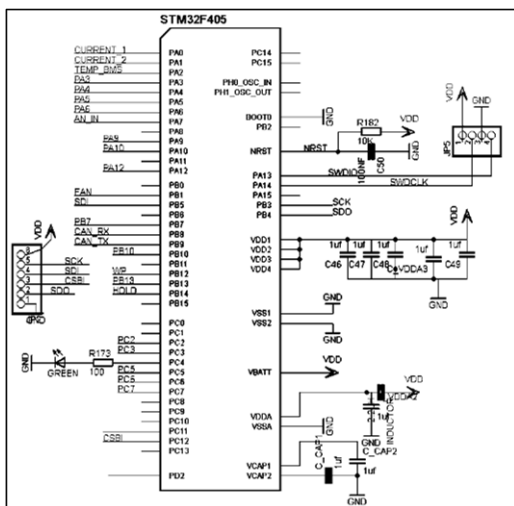
pengolahan ke pengguna, selain itu untuk memonitoring serta *safety protection*. *Master board* ini menggunakan *microcontroller* STM32F405. *Microcontroller* ini dilengkapi dengan *real time operation* sistem yang dapat dilakukan dengan multi tasking dengan *handing timer* mencapai 168Mhz. Dalam rangkaian *master board* tersusun atas beberapa rangkaian diantaranya:

3.2.1.1 Modul Controller

Pada *master board* menggunakan *microcontroller* STM32F405RGT7 dimana memiliki fitur sebagai berikut:

- *Microcontroller* ini memiliki frekuensi kerja yang mencapai 168 Mhz dimana dapat melakukan pengukuran dengan *sampling* data yang cukup banyak, selain itu juga responsif dan akurat ketika melakukan balancing.
- Memiliki ADC 12 bit, sehingga dapat melakukan pengukuran dengan resolusi yang sangat kecil.
- Memiliki 2 *peripheral* CAN yang berfungsi sebagai protokol komunikasi antar *device*. Yaitu SPI yang berfungsi berkomunikasi dengan LTC6803-4 dan USART untuk berkomunikasi dengan *user interface*.

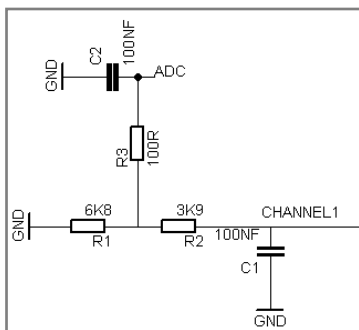
Untuk membuat *microcontroller* ini dapat bekerja secara stabil dengan cara pemasangan kapasitor 100nF yang dipasang pada pin *power supply*. Berikut pada gambar 3.3 merupakan minimum sistem dari modul *microcontroller*.



Gambar 3. 3 MinimumSistem STM32F405RGT7

3.2.1.2 Modul Sensor Arus

Modul sensor arus ini menggunakan sensor arus LEM DHAB s/15. Sensor ini mempunyai 2 *channel* pengukuran pada chanel pengukuran pertama dapat mengukur arus sebesar hingga 60 A sedangkan *channel* kedua dapat mengukur arus 600A. *Transducer* ini memiliki *hall efecct* sensor untuk mengetahui perubahan arus yang mengalir, sehingga memiliki standart otomotif.



Gambar 3. 4 Voltage Divider

Luaran sensor arus ini adalah tegangan dengan level 5 V dan offset tegangan 2,5 V. Pada mikrokontroler STM32F405RGT7 yang memiliki level tegangan referensi 3,3 volt maka sebelum masuk ke pin ADC, luaran sensor ini perlu diberi rangkaian pengkondisian sinyal. tegangan tersebut diatur menggunakan *voltage divider* seperti pada gambar 3.2 berikut.

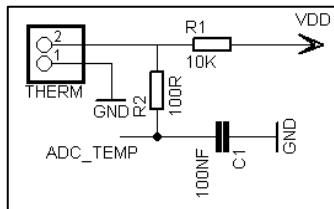
Pada gambar 3.4 merupakan keseluruhan dari pengkondisian sinyal sensor arus LEM DAHB S/12. Fungsi dari kapasitor 1 (C1) untuk *electromagnetic compatibility* (EMC) proteksi. R1 dan R2 berfungsi untuk *voltage divider* atau sebagai penurunan sinyal tegangan, sehingga tegangan tersebut pada level 3,3 Volt. R3 dan C2 berperan sebagai *RC low pass filter*. Sensor tersebut ini memiliki sensitifitas (G) 33,3 mV/A dengan resolusi sebesar 2,5 mV sehingga secara maksimal pengukuran ini memiliki resolusi sebesar 0,075A. Persamaan arus yang terukur (I_p) adalah sebagai berikut.

$$I_p = \left(V_{out} - \frac{V_c}{2} \right) \times \frac{1}{G} \times \frac{5}{V_c}$$

Dimana : $V_c=3,3$ Volt dan $G=33,3$ mV/A untuk *channel 1* dan 3,3mV/A untuk *channel 2*.

3.2.1.3 Modul Sensor Temperatur

Sensor temperatur ini menggunakan Thermistor NTC 100 K. Perubahan temperatur dapat dikonversi menjadi perubahan hambatan oleh thermistor. Data yang dimasukkan pada pin ADC micri merupakan data analog dari tegangan, sehingga nilai hambatan pada thermistor perlu dirubah menjadi data tegangan dengan menggunakan *voltage divider*. Berikut rangkaian penkodisian sinyal thermistor.

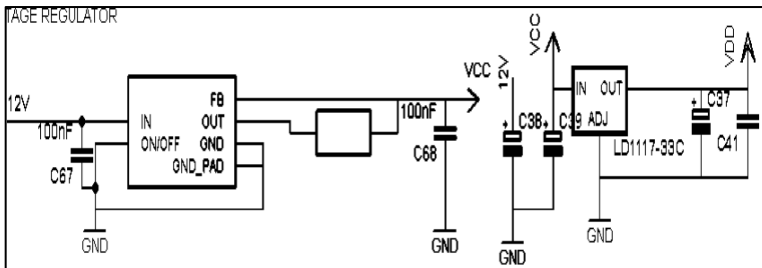


Gambar 3. 5 Rangkaian Pengkondisian Sinyal Thermistor

Pada gambar 3.5 R1 merupakan hambatan yang besar nilainya 10K Ω dimana sebagai pembagi tegangan terhadap hambatan thermistor. R2 bernilai 100 Ω dan C1 bernilai 100nF adalah rangkaian RC *low pass filter*. Temperatur yang didesain dari sensor ini sebesar 100°C sehingga sensor ini memiliki resolusi temperatur 0,02°C.

3.2.1.4 Modul Voltage Regulator

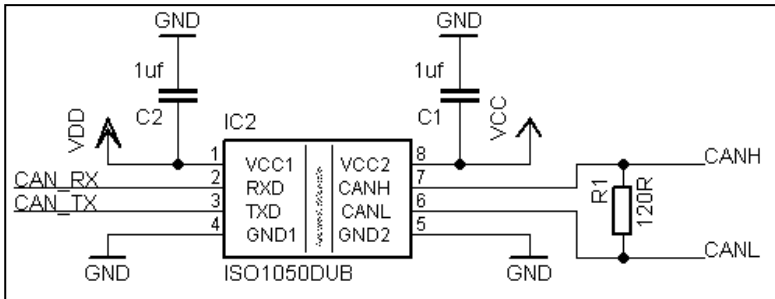
Voltage regulator merupakan rangkaian *step down* DC-DC konverter yang mengubah tegangan menjadi 5volt DC. Pada rangkaian *voltage regulator* ini menggunakan LM2576S-5.0, dimana pada STM32F405RGT7 menggunakan level tegangan 3,3 volt. Sehingga digunakan dibutuhkan lagi *voltage regulator* dengan tipe LD1117DT33CTR. Pada gambar 3.6 terdapat kapasitor pada masukan dan luarannya yang berfungsi sebagai stabilisator.



Gambar 3. 6 Modul Voltage Regulator

3.2.1.5 Modul Komunikasi

BMS menggunakan komunikasi data CAN (*Controller Area Network*). CAN merupakan standart otomotif yang mempunyai kecepatan 1 Mbps. Perangkat yang terhubung dengan CAN sensor, aktuator, dan pernakat lain. Komunikasi CAN sangat tahan terhadap gangguan. Data yang ditransferkan adalah nilai logika (0 dan 1) yang mana kombinasi nilai logika ini dapat dibaca melalui differensial tegangan pada pin CAN High dan CAN Low. Berikut rangkaian CAN BMS ini :

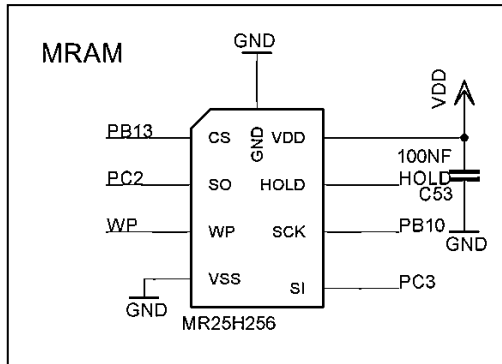


Gambar 3. 7 Rangkaian CAN BMS

BMS ini menggunakan IC CAN ISO1050DUB untuk mengkonversikan level tegangan pada STM32F405RGT7 menjadi level tegangan 5 Volt yang akan diparalel dengan CAN yang lain. Resistor 120 berfungsi untuk menghindari terjadinya floating tegangan pada data CAN High dan CAN Low. Capacitor C1 dan C2 ini berfungsi sebagai stabilisator, sehingga power supply yang dimasukkan pada IC ISO1050 ini lebih stabil.

3.2.1.6 Modul MRAM

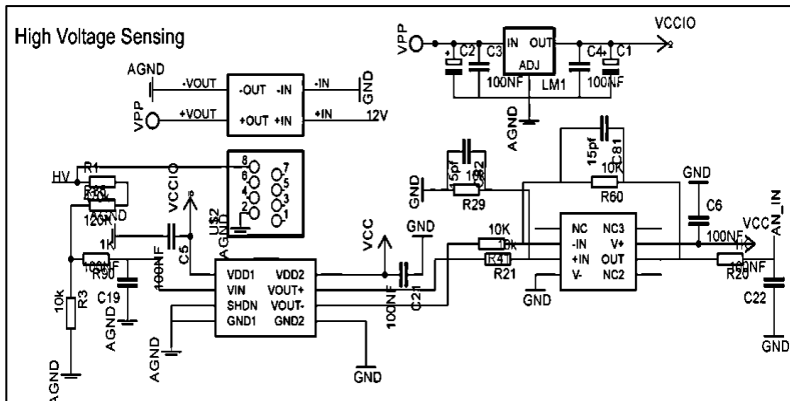
Magnetoresistive Random Access Memory (MRAM) adalah perangkat penyimpanan yang menggunakan prinsip electromagnet sehingga memiliki fitur *Unlimited Write* dan *Read data*. Peneliti menggunakan eksternal memori ini untuk memfasilitasi fungsi perhitungan kapasitas baterai yang diharuskan mengakses memori setiap 100ms. Internal *Flash* digunakan sebagai memory data static, STM32F4 dapat melakukan *re-write Flash* sebanyak 10.000-1jt kali sehingga diperlukan MRAM ini. MRAM menggunakan komunikasi SPI dan pada desain BMS ini memakai SPI2 karena SPI1 sudah dipakai untuk LTC. MRAM yang digunakan adalah tipe MR25H256CDC



Gambar 3. 8 Modul MRAM

3.2.1.7 Modul High Voltage Sensing

Pengukuran tegangan total diperlukan untuk membandingkan dengan hasil penjumlahan pengukuran tegangan per cell. Pada pengukuran tegangan tinggi harus memiliki isolasi grounding baterai dan grounding sistem. *Galvanic isolation* merupakan teknologi yang saat ini dikembangkan untuk mengisolasi tegangan tinggi terhadap level tegangan sistem. BMS ini menggunakan IC ACPL-C87A-000E Precision Optically Isolated Voltage Sensor.



Gambar 3. 9 Modul High Voltage Sensing

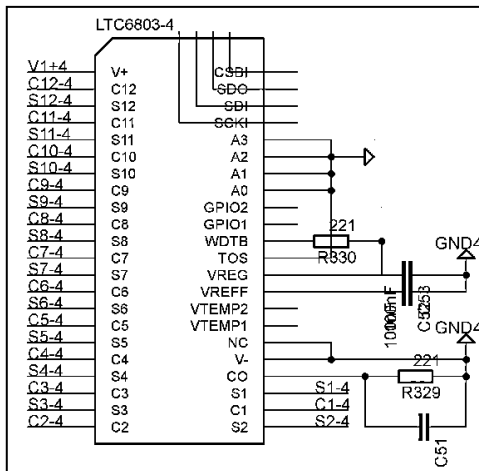
maksimum 5 volt. Chips ini memiliki fasilitas *addressable serial interface* sebanyak 4 bit (16 *address*).

Pengukuran tegangan menggunakan Delta Sigma ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan resolusi 12 bit dan memiliki offset 0x200 (secara decimal senilai 512). Sehingga tegangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

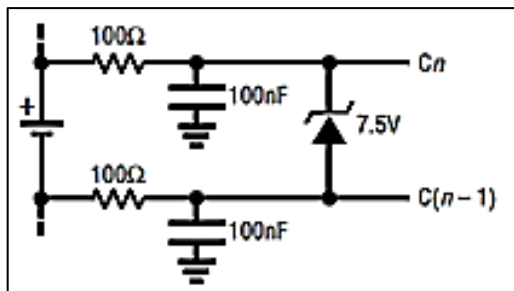
$$V_{IN} = (DOUT - 512) * V_{LSB} ; V_{LSB} = 1.5mV$$

Dimana DOUT adalah sebuah bilangan *integer* yang merupakan hasil konversi dari LTC6803-4. Sebagai contoh, jika tegangan input 0 volt akan menghasilkan nilai pengukuran DOUT sebesar 0x200 (secara desimal senilai 512). Jika pembacaan ADC bernilai 0x000, maka berarti bahwa tegangan yang terukur adalah sebesar -0.768 volt. Tegangan pengukuran memiliki range antara -0.768 volt sampai 5.376 volt. Nilai V_{LSB} diperoleh dari perhitungan $(5.376+0.768)/2^{12}$ yaitu senilai 1.5 mV. Tegangan input diatas 5 volt akan menimbulkan noise pada pembacaan ADC.

Berikut rangkaian LTC6803-4 :



Gambar 3. 11 Modul LTC Pengukur Tegangan per Cell

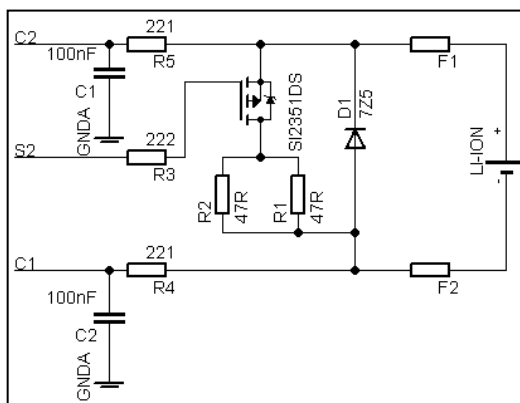


Gambar 3. 12 RC Filter BMS

Total maksimum error pengukuran adalah sebesar 0.25%. Nilai error tersebut dapat dikurangi dengan rangkaian eksternal RC filter. Gambar 3.12 merupakan RC filter. RC filter menggunakan nilai $R = 200 \, \Omega$ dan $C = 0.1 \, \mu F$ sehingga error pengukuran tegangan cell memiliki range 0.1 – 1 mV.

3.2.2.2 Modul Balancing

BMS ini memiliki *passive balancing* dengan *switching* Mosfet P *channel* berdasarkan tegangan per cell. Metode ini dipakai karena lebih simple apabila dibandingkan dengan *Active Balancing*. Skema *passive balancing* BMS ini dapat dilihat pada gambar berikut :

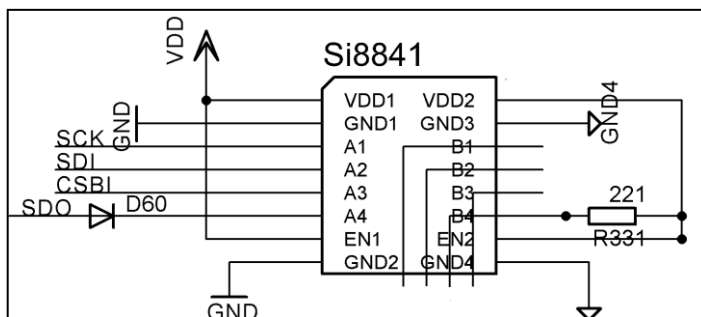


Gambar 3. 13 Rangkaian 1 Cell Passive Balancing Menggunakan Mosfet

Rangkainya diatas merupakan rangkaian *passive balancing* untuk 1 cell baterai. Dimana F1 dan F2 merupakan fuse yang berfungsi untuk sebagai pengaman sirkuit apabila terjadi kegagalan pada BMS sehingga tidak akan merusak baterai. D1 merupakan dioda zener 7,5 volt, dimana dioda ini sebagai pengaman LTC6803-4. Tegangan yang diizinkan masuk pada pin C1 maupun C2 maksimal adalah 7.5 Volt. R5, R4 dan C1, C2 merupakan RC Low Pass Filter yang berfungsi untuk memperkecil error pengukuran pada LTC6803-4. R1 dan R2 merupakan Resistor bypass yang berguna untuk membuang kapasitas cell baterai yang berlebih dalam bentuk panas. Mosfet yang digunakan adalah Si2351DS, merupakan Mosfet P-Channel yang memiliki kemampuan switching hingga 2 A 20 volt. [10] Mosfet ini akan diaktifkan oleh LTC6803-4 sesuai perintah dari MCU Master.

3.2.2.3 Modul Opto Isolator

Opto Isolator berfungsi untuk mengisolasi 2 level tegangan yang berbeda sumber sehingga tidak saling terhubung namun dapat berinteraksi. Isolasi 2 level tegangan yang dimaksud adalah SCK, SDI, SDO dan CSBI antara Microcontroller dengan LTC. Digital Isolator yang digunakan adalah Si8841BB-D-IS1 yang memiliki fitur *Quad Channel Digital Isolator*. *Opto isolator* ini memiliki spesifikasi kecepatan operasi sebesar 150Mbps.



Gambar 3. 14 Modul Opto Isolator

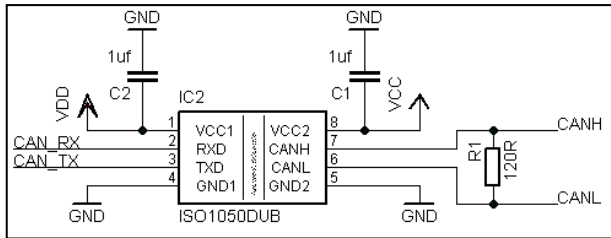
3.3 Komunikasi Data CAN

Komunikasi data CAN (*Controller Area Network*) merupakan komunikasi topologi bus. IC yang digunakan merupakan ISO1050DUB, komunikasi CAN merupakan sebuah standar otomotif yang memberikan suatu fasilitas fitur kecepatan pengiriman data hingga 1 Mbps dengan panjang jaringan hingga 50 m. Ketika tahun 1993 organisasi internasional dibidang standarisasi merilis standar 11898 yang kemudian direstrukturisasi menjadi dua bagian , yaitu ISO 11898-1 yang mencakup lapisan data link, dan ISO 11898-2 yang meliputi lapisan fisik untuk kecepatan tinggi. ISO 11898-3 mencakup lapisan fisik untuk kecepatan rendah.



Gambar 3. 15 Komunikasi Data CAN

Perangkat yang terhubung dengan jaringan CAN merupakan sensor, aktuator dan perangkat kontrol lain. Salah satu alasan pemakaian komunikasi ini karena data yang ditransfer lebih tahan terhadap noise. Data yang ditransfer akan direpresentasikan berupa nilai logik (0 dan 1) dimana kombinasi nilai logik ini dapat dibaca melalui differensial tegangan pada pin CAN *low* dan CAN *high*. Perbedaan tegangan pada pin CAN *high* dan *low* bisa lebih dari 5 volt sehingga sangat tahan terhadap noise. IC CAN ISO1050DUB untuk mengkonversikan level tegangan pada STM32F405RGT7 untuk menjadi level tegangan 5 volt yang akan diparalel dengan CAN yang lain. Pada gambar 3.7 resistor 120 berfungsi untuk menghindari terjadinya *floating* tegangan pada data CAN *high* dan CAN *low*. Pada kapasitor C1 dan C2 berfungsi sebagai stabilisator, sehingga *power supply* yang akan masuk pada IC ISO1050 akan stabil.



Gambar 3. 16 Rangkaian CAN

3.4 Modul *Bluetooth* HC-05

Bluetooth merupakan salah satu komunikasi data untuk bertukar data tanpa perantara kabel (nirkabel) pada jarak lingkup radius tidak terlalu jauh. Modul *bluetooth* yang digunakan merupakan modul HC-05, modul *bluetooth* ini merupakan modul *bluetooth* SPP (*Serial Port Protocol*) yang mudah digunakan untuk komunikasi serial *wireless* (nirkabel) yang mengkonversi *port serial* ke *bluetooth*. Pada *bluetooth* HC-05 menggunakan modulasi *bluetooth* V2.0 + EDR (*Enhanced Data Rate*) sebesar 3 Mbps dengan memanfaatkan gelombang radio yang berfrekuensi 2,4 GHz. [11]



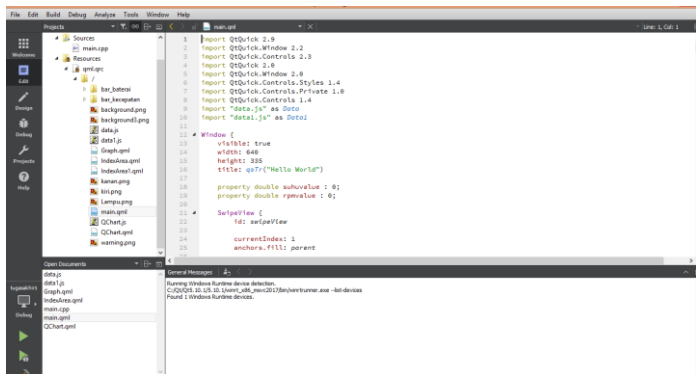
Gambar 3. 17 Modul *bluetooth* HC-05

3.5 Perancangan Software

Konfigurasi *hardware* untuk dapat menjalankan fungsinya perlu dukungan perancangan program. Pada penelitian ini, penulis melakukan desain program pada *software* Qt Creator. Langkah pertama merupakan pembuatan desain *interface* dan yang kedua dengan desain pemrograman komunikasi data serial.

3.5.1 Qt Creator

Untuk membuat desain *interface GUI* dengan menggunakan aplikasi QtCreator. *Interface* akan menampilkan data untuk pengguna agar dapat menghantarkan informasi. Untuk membuat *inteface* pada QML Qt Creator. Dimana bagian ini merupakan bagian inti untuk mendesain *interface*. Aplikasi dari program ini menggunakan bahasa pemrograman bahasa C. Berikut ini merupakan gambar dari software Qt Creator dengan berbagai type file yang saling berhubungan.



Gambar 3. 18 Menu Text Editor pada software Qt Creator

Dalam desain *interface GUI* data yang ditampilkan meliputi

- Pack voltage
- Pack current
- SOC
- Temperature motor
- Temperature baterai
- RPM motor

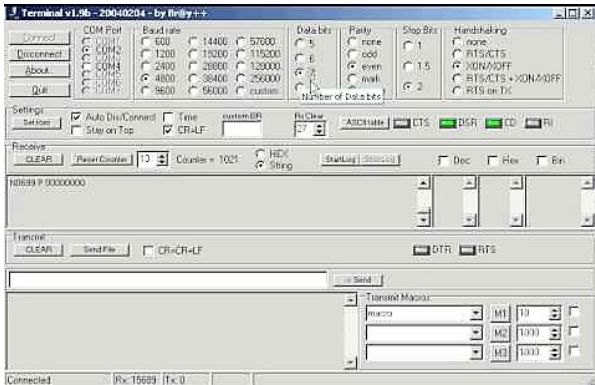
GUI yang dibuat menampilkan data secara *real time* selama proses *discharge*. Sehingga pada penelitian didapatkan monitoring dari awal hingga akhir proses *discharge*. Pada gambar berikut merupakan gambar dari tampilan GUI monitoring.



Gambar 2. 8 Tampilan GUI Monitoring

3.5.2 Terminal V1.9

Software Terminal V1.9 ini memiliki fungsi untuk proses pengiriman data secara serial, sehingga dapat dilakukan proses *logger* data. Metode *logger* berguna untuk merekam data selama monitoring berlangsung. Rekam data akan berguna untuk keperluan analisa hasil. Berikut ditampilkan bentuk *software* Terminal V1.9



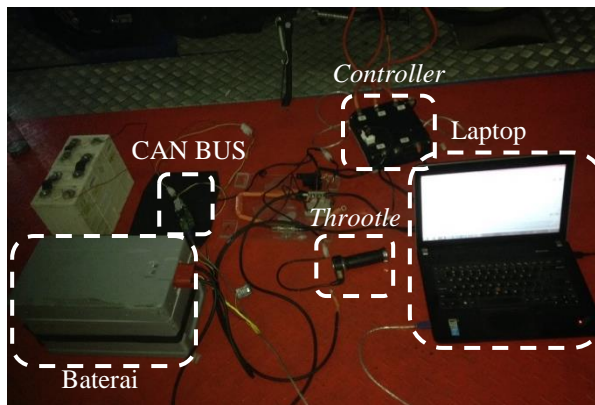
Gambar 3. 19 Software Terminal V1.9

3.6 Skema Pengujian

Pengujian ini terdiri atas 3 pengujian yaitu pengujian perbandingan alat ukur dengan sensor sistem, pengujian dengan test performansi dan test drive. berikut jenis dari pengujian tersebut.

3.6.1 Pengujian Perbandingan Alat Ukur dengan Sensor Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan dan mengetahui error dari sensor sistem yang sudah dirangkai. Pada alat ukur disini diasumsikan sebagai alat ukur yang akurat dengan eror nol, sehingga dapat diasumsikan yang terbaca pada alat ukur adalah nilai murni. Pada gambar berikut merupakan gambar skema pengujian perbandingan alat ukur dengan sensor sistem.



Gambar 3. 20 Skema Pengujian Perbandingan Alat Ukur dengan Sensor Sistem

Pengujian Arus pada baterai kali ini menggunakan alat ukur arus yang namanya *clampmeter*. Pada pengujian kali ini kita melihat arus yang disuplai oleh baterai dengan memasang clampmeter di kabel luaran baterai. Selain itu juga dilakukan pengujian tegangan dimana alat ukurnya dengan avometer. Kita melihat tegangan baterai dengan pengukur tegangan luaran dari baterai. Pada pengujian selanjutnya

dengan menggunakan dyno test, dimana pada dyno test terdapat tampilan dari rpm. Berikut gambar dari skema pengujian dyno test.



Gambar 3. 21 Skema Pengujian Dyno Test

Dimana pada roda dari kendaraan terkopel dengan drum berputar dari dyno test yang dimana dapat ditampilkan nilai rpm dari aplikasi dyno pada komputer. Untuk mendapatkan data dari ketiga pengujian kali ini secara terekam, menggunakan metode logger. Dimana setelah proses logger dapat di unduh datanya dan sehingga dapat diolah dan dianalisa.

3.6.2 Test Performansi

Pengujian Test performansi ini merupakan pengujian menggunakan alata Dynotest dimana alat dapat menampilkan uji performansi kendaraan. Cara pengujian dengan Dyno test ini dengan cara langsung membuka penuh. Pada kendaraan ini masih memiliki sedikit kekurangan di bagian *controller*, dimana ketika buka *throttle* secara penuh langsung *controller* tidak bisa mengolah informasi tersebut secara halus mengakibatkan putaran motor menjadi tidak stabil sehingga untuk buka *throttle* dibuka agak pelan hingga full. Gambar skema pengujian dari test performansi sama seperti skema pengujian dyno test. Tetapi hasil uji yang didapat berbeda, pada pengujian kali ini didapatkan puncak daya dan torque dari kendaraan.

3.6.3 Pengujian Test Drive

Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 6 kali pengujian dikendarai secara langsung dengan beban penumpang 1 orang. Medan yang dilalui merupakan medan jalanan landai dan tidak begitu banyak tanjakan. Tempat dilaksanakan pengujian disekitar kampus ITS. Pada pengujian ini variabelnya bebas seperti penggunaan *throttle* dan rem oleh pengguna tidak ada penyamaan disetiap pengujiannya. Sehingga dapat mepresentatifkan konsumsi energi yang dibutuhkan. Berikut dokumen tasi pengujian *test drive* ini.



Gambar 3. 22 Pengujian Test Drive

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan pengujian sesuai dengan perencanaan yang telah dilakukan pada bab 3. Tujuan dari pengujian ini untuk memastikan bahwa rangkaian dari tiap sensor bekerja sesuai dengan perencanaan, hasil dari pengujian tersebut dibandingkan dengan alat ukur. Sehingga dapat mengetahui kekurangan maupun kelemahan dari rangkaian yang telah dibuat. Berdasarkan pengujian yang dilakukan maka akan diperoleh data sebagai bukti bahwa perangkat yang dibuat dapat berkerja dengan baik. Dari data yang diperoleh kemudian dianalisa sebagai bahan untuk menarik kesimpulan.

4.1 Pengujian dengan Alat Ukur

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh data dari tegangan (*Pack Voltage*) dan arus (*Pack Current*) dari baterai secara langsung menggunakan alat ukur. Untuk mengukur arus digunakan alat ukur *Clampmeter* dan untuk mengukur tegangan menggunakan *Avometer*. Pengambilan data dilakukan pada saat baterai *discharge*. Pada motor dilakukan pengujian pengujian pengukuran RPM menggunakan alat *dynotest*.

4.1.1 Hasil Pengujian *Pack Current* dengan *Clampmeter*

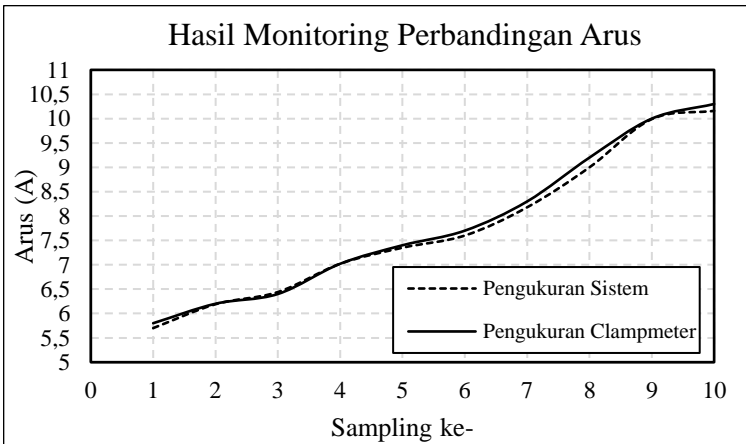
Pengujian dilakukan menggunakan *clampmeter*. Tujuan dari pengujian ini untuk membandingkan sensor arus yang terdapat dibaterai, sehingga dapat diketahui eror dari alat ukur sensor sistem. Pengukuran arus dilakukan pada luaran dari baterai. Alat ukur *clampmeter* diasumsikan sebagai alat ukur dengan tingkat akurasi yang tinggi dan tepat. Gambar 4.1 merupakan gambar dari pengukuran arus baterai menggunakan *clampmeter*. Pada pengukuran menggunakan *clampmeter* dan sensor arus dari sistem tersajikan di tabel 4.1. Dari data tersebut kedua pengukuran terdapat selisih yang disebut eror. Selisih dari kedua pengukuran dapat dilihat di gambar 4.2. Data dari sistem sensor diperoleh dengan cara *logger* data yang kemudian di unduh.



Gambar 4. 1 Pengukuran *Clampmeter*

Persen eror dapat dihitung dari perbandingan selisih dari kedua pengukuran tersebut. Sehingga persen eror dapat diperhitungkan dengan berikut:

$$\begin{aligned}
 e &= \left| \frac{X \text{ Sistem} - X \text{ Pengukuran}}{X \text{ Pengukuran}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{5,7 - 5,8}{5,8} \right| \times 100\% \\
 &= 1,72 \%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 2 Hasil Monitoring Perbandingan Arus

Tabel 4. 1 Perbandingan Error Pembacaan Arus

No	Pembacaan		Error (%)
	Sensor Arus (A)	Clampmeter (A)	
1	5,7	5,8	1,72
2	6,19	6,2	0,16
3	6,44	6,4	0,63
4	7,02	7,02	0,00
5	7,35	7,4	0,68
6	7,6	7,7	1,30
7	8,18	8,3	1,45
8	9	9,2	2,17
9	9,99	9,9	0,09
10	10,16	10,3	1,36

Pada tabel 4.1 bisa didapatkan error dari pengukuran tidak mencapai 2,2%. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa sensor arus sistem sudah berjalan dengan baik dan tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata error pengukuran sebesar 0,97%.

4.1.2 Hasil Pengujian Pack Voltage dengan Avometer

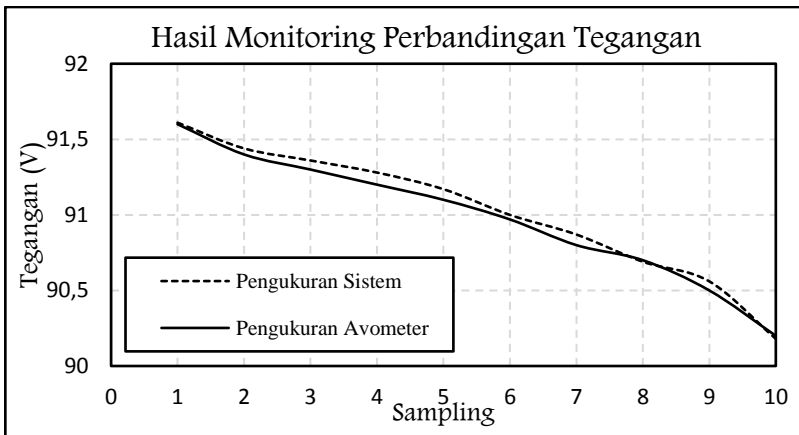
Pengujian dilakukan menggunakan *avometer*. Tujuan dari pengujian ini untuk membandingkan sensor tegangan yang terdapat di baterai, sehingga dapat diketahui eror dari alat ukur sensor sistem. Pengukuran arus dilakukan pada luaran dari baterai. Alat ukur *avometer* diasumsikan sebagai alat ukur dengan tingkat akurasi yang tinggi dan tepat. Gambar 4.3 merupakan gambar dari pengukuran *pack voltage* baterai menggunakan *avometer*. Pada pengukuran menggunakan *avometer* dan sensor tegangan dari sistem tersajikan di tabel 4.2. Dari data tersebut kedua pengukuran terdapat selisih yang disebut eror. Selisih dari kedua pengukuran dapat dilihat di gambar 4.4. Data dari sistem sensor diperoleh dengan cara *logger* data yang kemudian di unduh.



Gambar 4.3 Pengukuran Avometer

Persen eror dapat dihitung dari perbandingan selisih dari kedua pengukuran tersebut. Sehingga persen eror dapat diperhitungkan dengan berikut:

$$\begin{aligned}
 e &= \left| \frac{X \text{ Sistem} - X \text{ Pengukuran}}{X \text{ Pengukuran}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{91,28 - 91,2}{91,28} \right| \times 100\% \\
 &= 0,09 \%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Hasil Monitoring Perbandingan Tegangan

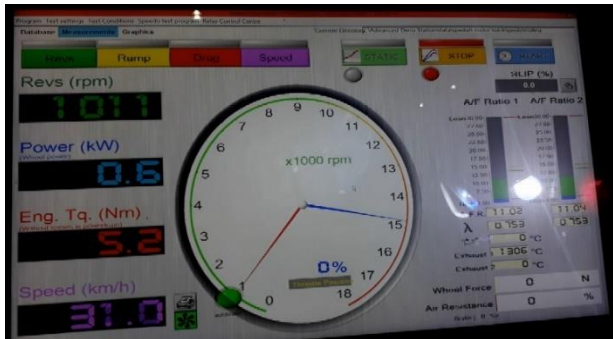
Tabel 4. 2 Perbandingan Error Pembacaan Tegangan

No	Pembacaan		Error (%)
	Sensor Tegangan (V)	Avometer (V)	
1	91,61	91,6	0,01
2	91,44	91,4	0,04
3	91,36	91,3	0,07
4	91,28	91,2	0,09
5	91,17	91,1	0,08
6	91	90,97	0,03
7	90,87	90,8	0,08
8	90,69	90,7	0,01
9	90,56	90,5	0,07
10	90,18	90,2	0,02

Dari data tabel 4.2 eror sangat sekecil dibawah 0,1% dengan rata-rata error sebesar 0,05%. Dapat dinyatakan bahwa sensor tegangan sudah berjalan dengan baik dan tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata eror 0,05%

4.1.3 Hasil Pengujian RPM dengan *Dynotest*

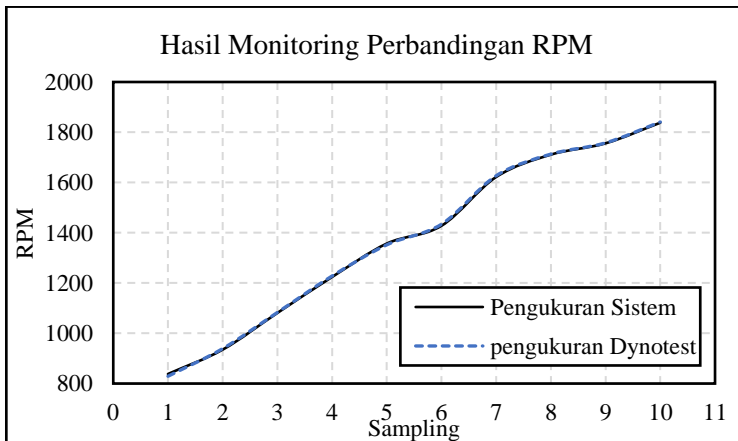
Pengujian dilakukan menggunakan *Dynotest*. Tujuan dari pengujian ini untuk membandingkan sensor RPM yang terdapat di *hall effect* motor, sehingga dapat diketahui eror dari alat ukur sensor sistem. Alat ukur *dynotest* diasumsikan sebagai alat ukur dengan tingkat akurasi yang tinggi dan tepat. Gambar 4.5 merupakan gambar dari pengukuran RPM motor menggunakan *dynotest*. Pada pengukuran menggunakan *dynotest* dan sensor RPM dari sistem tersajikan di tabel 4.3. Dari data tersebut kedua pengukuran terdapat selisih yang disebut eror. Selisih dari kedua pengukuran dapat dilihat di gambar 4.6. Data dari sistem sensor diperoleh dengan cara *logger* data yang kemudian di unduh.



Gambar 4. 5 Pengukuran *Dynotest*

Persen eror dapat dihitung dari perbandingan selisih dari kedua pengukuran tersebut. Sehingga persen eror dapat diperhitungkan dengan berikut:

$$\begin{aligned}
 e &= \left| \frac{X \text{ Sistem} - X \text{ Pengukuran}}{X \text{ Pengukuran}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{838 - 829}{838} \right| \times 100\% \\
 &= 1.07 \%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 6 Hasil Monitoring Perbandingan RPM

Tabel 4. 3 Perbandingan Error Pembacaan RPM

No	Pembacaan		Error (%)
	Sensor RPM	RPM Dynotest	
1	838	829	1,07
2	935	939	0,43
3	1081	1083	0,19
4	1224	1228	0,33
5	1357	1352	0,37
6	1428	1434	0,42
7	1622	1627	0,31
8	1711	1713	0,12
9	1756	1758	0,11
10	1838	1841	0,16

Dari data tabel 4.3 bisa didapatkan error dari pengukuran tidak mencapai 2%. Dapat dinyatakan bahwa sensor arus sudah berjalan dengan baik dan tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata error pengukuran sebesar 0,35%.

4.2 Hasil Monitoring dengan Pengujian Menggunakan *Dynotest*

Pada pengujian kali ini dilakukan pengujian pembebanan pada baterai, dengan cara menyalakan motor listrik yang sudah terhubung dengan modul *dynotest*. Pengujian dilakukan dengan cara langsung membuka *throttle* hingga penuh. Tetapi pada motor listrik GESITS ini tidak dapat langsung penuh dari awal, jika dibuka *throttle* penuh dari awal putaran motor tidak halus ada getaran yang cukup kencang. Sehingga cara pembukaan *throttle* dengan cara perlahan hingga penuh.

Proses pengambilan data dengan cara *logger* dimana setiap data terekam. Pengambilan sampling dilakukan secara *realtime* dengan waktu 1 detik. Data yang dikirim melalui data serial dimana selain direkam juga

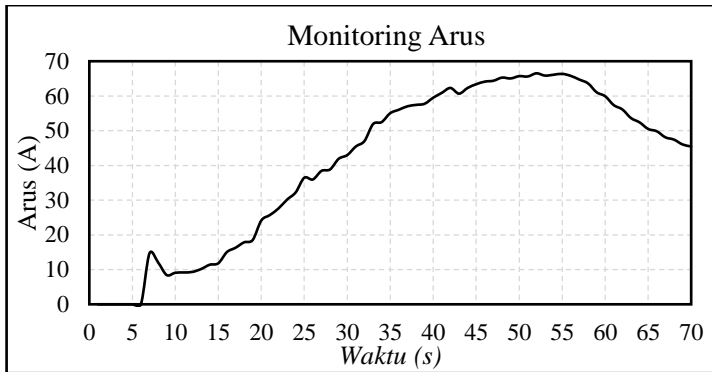
dikirim untuk *interface* untuk tampilan di GUI. Dari data *logger* dapat dilakukan pengolahan data dengan cara di plot.

4.2.1 Hasil Monitoring Arus Baterai

Pada baterai terdapat sensor arus, dimana arus dari baterai tersebut dimonitoring. Untuk mendapatkan data untuk diplot dilakukan *logger* atau merekam data dengan waktu sampling 1 sekon.

Tabel 4. 4 Hasil Monitoring Arus Baterai

Urutan Sampling	Hasil Monitoring	Urutan Sampling	Hasil Monitoring	Urutan Sampling	Hasil Monitoring
1	0	25	36,44	49	65,04
3	0	27	38,42	51	65,61
5	0	29	41,9	53	65,86
7	14,71	31	45,45	55	66,36
9	8,42	33	51,9	57	64,71
11	9,17	35	55,04	59	61,07
13	10,16	37	57,02	61	57,35
15	11,81	39	57,76	63	53,63
17	16,28	41	60,9	65	50,49
19	18,51	43	60,66	67	48,09
21	25,7	45	63,38	69	46,03
23	30,16	47	64,38		



Gambar 4. 7 Monitoring Arus

Pengujian ini dilakukan dengan cara membuka *throttle* hingga penuh, sehingga didapatkan hasil monitoring arus seperti yang ditampilkan di gambar 4.7. Pada gambar 4.7 arus naik dari detik ke 6 hingga hingga 45, saat detik 45 sampai 57 arus mulai stabil saat waktu 6s hingga 16s *throttle* dalam keadaan membuka terus hingga penuh, ditunjukkan bahwa pada saat waktu tersebut arus naik. Ketika waktu 17s kondisi *throttle* sudah pada saat penuh hingga waktu 44s bahwa arus cukup konstan di 56 A. Setelah waktu 45 s *throttle* dilepas dan arus turun hingga 0A.

4.2.2 Hasil Monitoring Pack Voltage

Pada baterai terdapat sensor tegangan, dimana arus dari baterai tersebut dimonitoring. Untuk mendapatkan data untuk diplot dilakukan *logger* atau merekam data dengan waktu sampling 1 sekon.

Tabel 4. 5 Monitoring Pack Voltage

Urutan Sampling	Hasil Monitoring
1	95,324
3	95,322
5	95,323
7	93,72
9	93,507

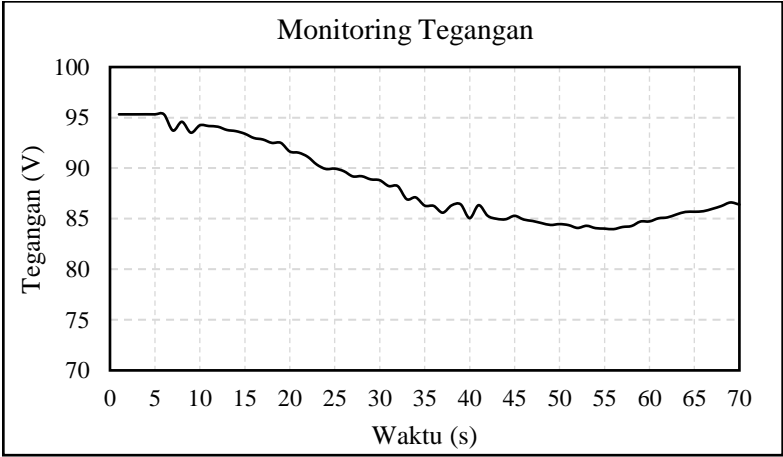
Urutan Sampling	Hasil Monitoring
25	89,954
27	89,187
29	88,891
31	88,23
33	86,931

Urutan Sampling	Hasil Monitoring
49	84,384
51	84,368
53	84,3
55	84,023
57	84,182

11	94,164
13	93,778
15	93,403
17	92,836
19	92,502
21	91,526
23	90,356

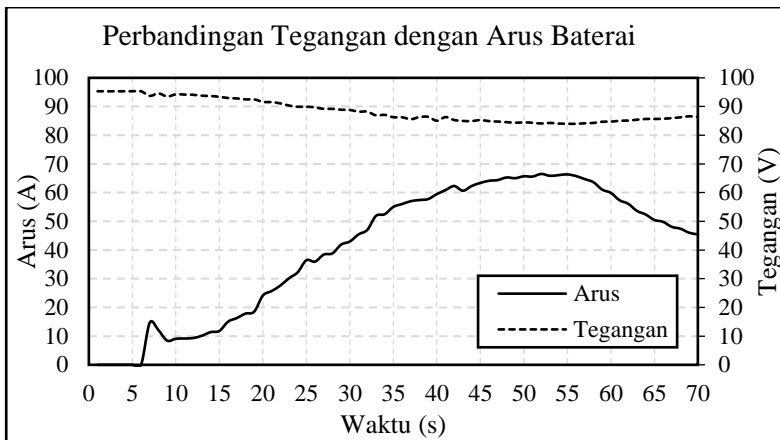
35	86,295
37	85,596
39	86,421
41	86,34
43	84,991
45	85,287
47	84,775

59	84,722
61	85,042
63	85,422
65	85,689
67	85,979
69	86,606



Gambar 4. 8 Monitoring Tegangan

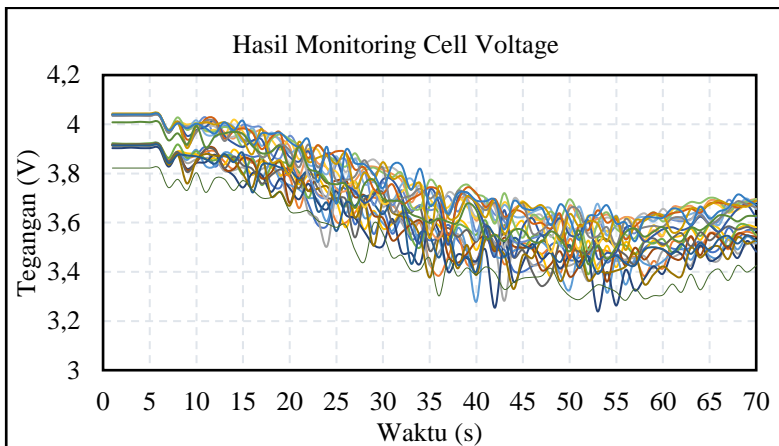
Pada gambar 4.8 merupakan hasil dari monitoring dari *pack voltage* dari baterai. Pengujian ini pada kondisi baterai terbebani. Pada gambar 4.9 munjukan perbandingan antara arus dengan tegangan, yang mana saat arus naik maka tegangan akan drop. Drop tegangan terjadi hingga 10%, setelah arus mulai turun maka tegangan juga ikut kembali naik.



Gambar 4. 9 Perbandingan Tegangan dengan Arus Baterai

4.2.3 Hasil Monitoring *Cell Voltage*

Pada baterai *pack* terdapat 240 biji baterai. Dengan penyusunan 10 baterai paralel, yang mana 1 rangkaian 10 baterai paralel tersebut disebut 1 *cell*. Pada baterai *pack* terdapat 24 *cell* yang disusun secara seri.

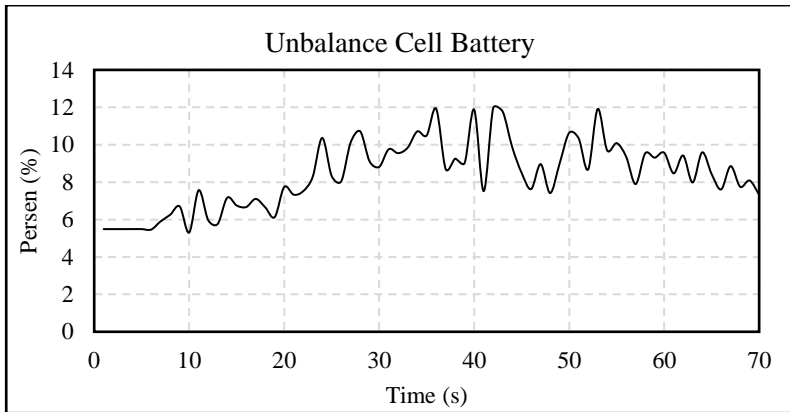


Gambar 4. 10 Hasil Monitoring *Cell Voltage*

[illegible]

Untuk menghitung *unbalance* dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut:

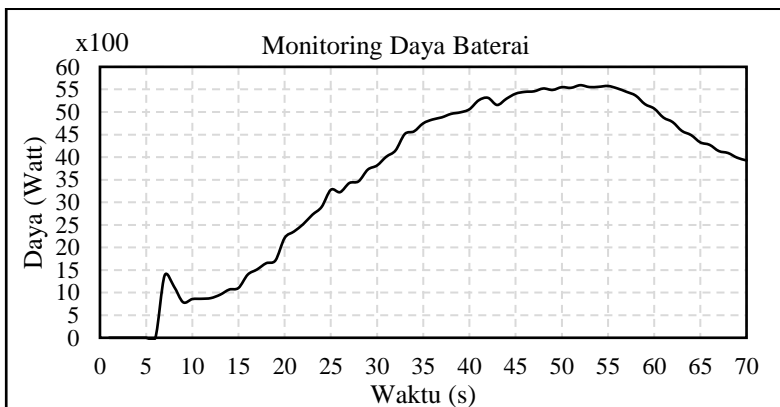
Setelah dilakukan perhitungan maka dapat dihasilkan nilai *unbalance* tiap detiknya terdapat pada gambar 4.12. Pada gambar tersebut dapat diketahui nilai *unbalance* tertinggi diangka 12%. Dengan rata-rata *unbalance* sebesar 8,4%. Sehingga nilai tersebut masih didalam range yang aman dan layak untuk digunakan, yang mana maksimal dari *unbalance* 10%. Pada ketika terjadi *unbalance* sebesar 10% selama 1 menit maka indikator merah nyala dan pada tegangan cell yang maksimal akan dibuang dengan *discharge* resistor.



Gambar 4. 12 *Unbalance Cell Battery*

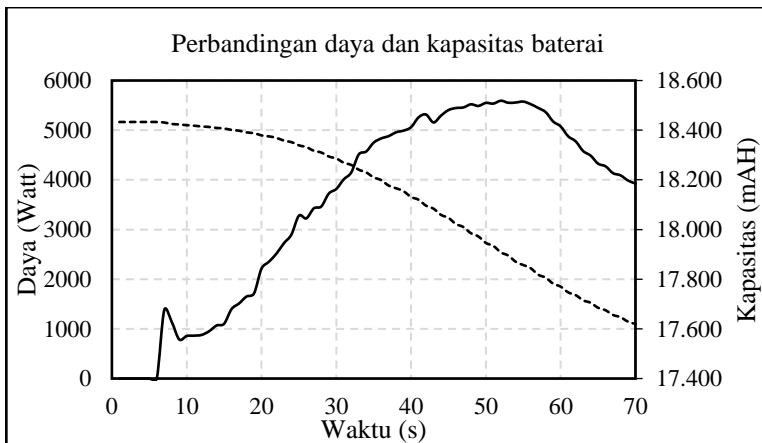
4.2.4 Hasil Monitoring Daya Baterai

Dari data *logger* dapat diperhitungkan daya yang disuplai oleh baterai. Gambar 4.13 merupakan hasil dari monitoring daya baterai.



Gambar 4. 13 *Monitoring Daya Baterai*

Pada saat baterai mensuplai energi maka kapasitas dari baterai akan menurun seperti apa yang terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Perbandingan Daya dan Kapasitas Baterai

4.3 Hasil Monitoring dengan Pengujian Menggunakan *Test Drive*

Pada pengujian kali ini dilakukan pengujian dengan cara mengendarai motor GESITS untuk *test drive*. Pengujian dilakukan di jalan sekitaran kampus ITS dengan 1 orang pengendara. Dengan asumsi medan yang *medium* tidak ada jalanan tanjakan. Pengujian ini agar mendapatkan data maka dilakukanlah proses *logger* untuk merekam data. Sampling dari *logger* pada *test drive* yaitu 0,5 s.

4.3.1 Hasil monitoring SOC (*State of Charge*)

State of Charge merupakan rasio kapasitas dari baterai, pada umumnya SOC dalam bentuk persen. Hasil monitoring dan *logger* data dari SOC tersajikan pada tabel 4.6. Pengukuran sampling kali ini menggunakan metode *base on voltage*.

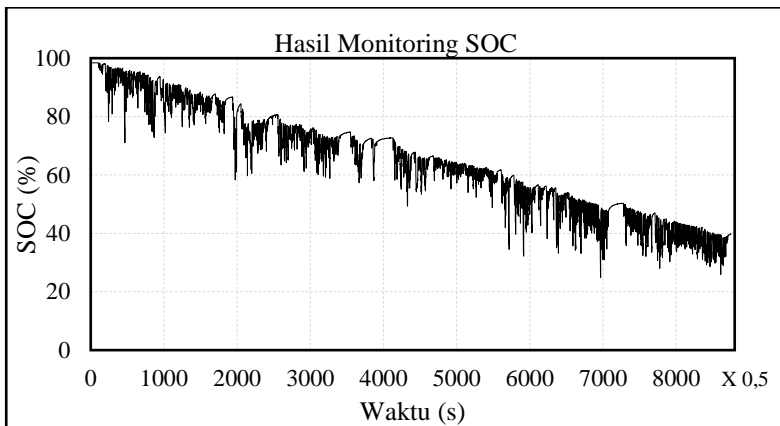
Tabel 4. 6 Monitoring SOC

Urutan Sampling	Monitoring SOC (%)	Urutan Sampling	Monitoring SOC (%)
1	98,4	4500	63,9
500	88,6	5000	59,9
1000	81,8	5500	57,5

1500	84,7
2000	81,5
2500	80,3
3000	75,4
3500	74,5
4000	72,4

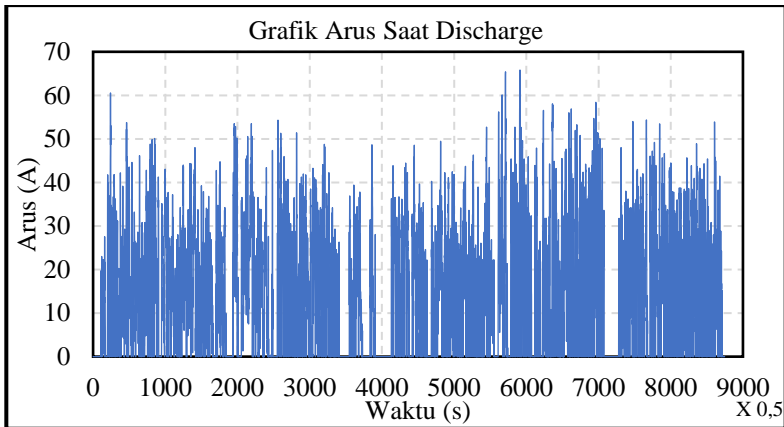
6000	46,5
6500	53,4
7000	31
7500	46,9
8000	37,5
8500	40

Dari hasil diatas dapat kita amati saat baterai terbebani maka nilai SOC-nya akan turun. Berdasarkan gambar 4.15 kurva SOC dari baterai dimana kondisi awal 98,4% turun hingga 40%.



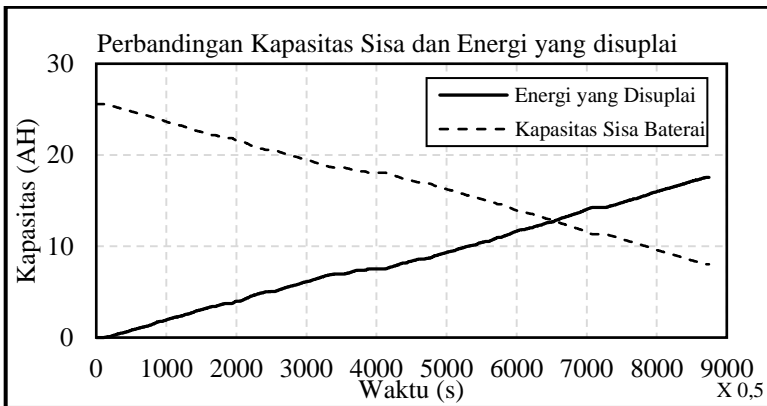
Gambar 4. 15 Hasil Monitoring SOC *Base on Voltage*

Untuk membandingkan hasil dari monitoring SOC diatas kita melakukan perhitungan SOC dari sisi kapasitas energi dari baterai. Dimana kita melihat berapa besar energi yang disuplai ke beban. Untuk mengetahui energi yang disuplai dengan cara mengintegralkan arus selama *discharge*. Berikut gambar 4.17 merupakan grafik arus selama *discharge*.



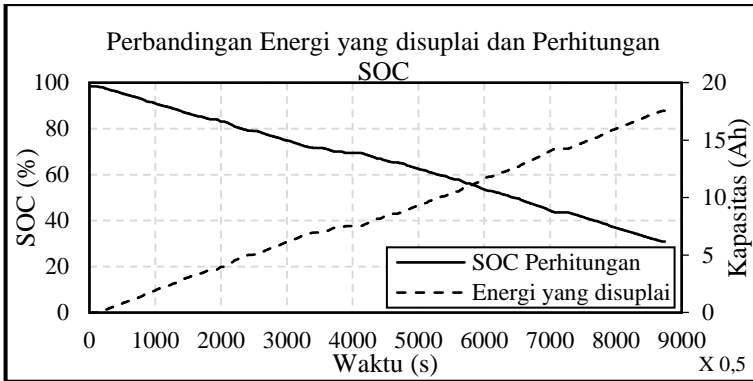
Gambar 4. 16 Grafik Arus Saat *Discharge*

Untuk mendapatkan energi yang disuplai baterai maka dilakukan pengintegralan dari arus *discharge*. Konsumsi energi dapat dilihat pada gambar 4.17. Kapasitas awal dari baterai 25,58. Sehingga dapat dihitung sisa dari kapasitas baterai.



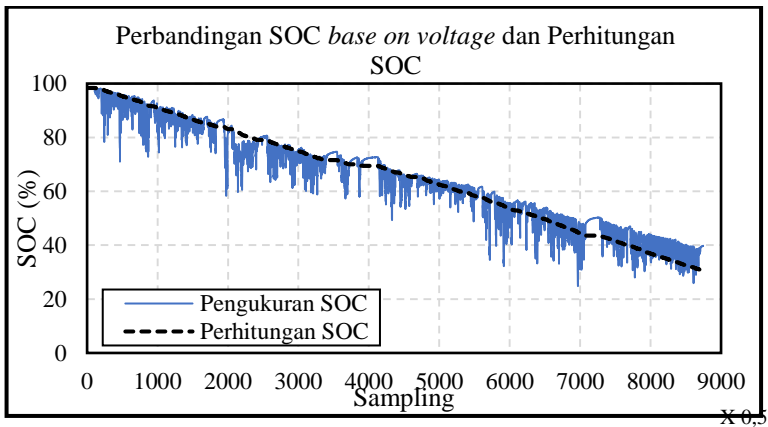
Gambar 4. 17 perbandingan kapasitas sisa dan konsumsi energi

Dari hasil sisa kapasitas dapat menghitung dari SOC dari baterai tersebut. Pada gambar 4.18 terdapat grafik SOC dimana diperoleh dari perhitungan sisa kapasitas dibandingkan dengan kapasitas baterai.



Gambar 4. 18 Perbandingan Energi yang disuplai dan Perhitungan SOC

Berdasarkan gambar 4.19 terdapat gambar perbandingan pengukuran SOC (*base on voltage*) dengan perhitungan terdapat selisih paling besar yaitu 9%. Dari kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa SOC mengalami penurunan karena terbebani oleh motor. Grafik penurunan dari pengukuran SOC tidak bisa halus dikarena pengukurannya menggunakan metode *base on voltage*, dimana arus mengalir semakin besar maka tegangan akan turun sesuai dengan karakteristik dari baterai.



Gambar 4. 19 Gambar Perbandingan SOC *base on voltage* dan Perhitungan SOC

4.3.2 Hasil Monitoring Temperatur Baterai

Pada baterai pack terdapat 24 *cell* baterai dan 2 sensor temperatur yaitu temperatur baterai pack 1 dan temperatur baterai pack 2.

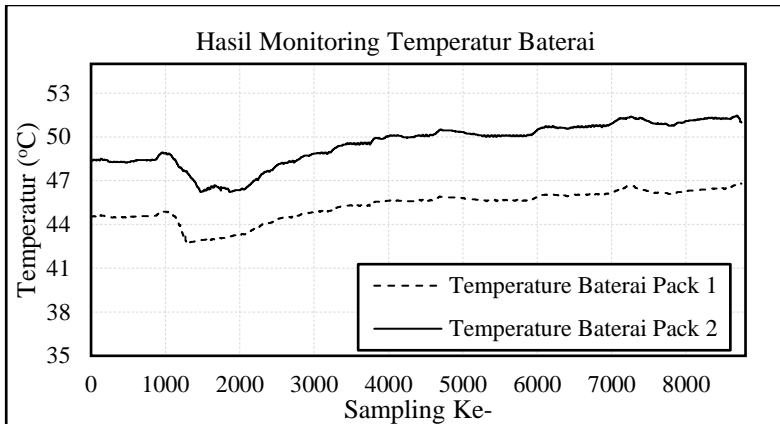
Tabel 4. 7 Monitoring Temperatur Baterai Pack 1

Urutan Sampling	Monitoring Temperatur (°C)	Urutan Sampling	Monitoring Temperatur (°C)
1	44,57	4500	45,69
500	44,47	5000	45,79
1000	44,87	5500	45,62
1500	42,94	6000	45,89
2000	43,26	6500	46,02
2500	44,35	7000	46,19
3000	44,87	7500	46,29
3500	45,32	8000	46,29
4000	45,62	8500	46,49

Tabel 4. 8 Monitoring Temperatur Baterai Pack 2

Urutan Sampling	Monitoring Temperatur (°C)	Urutan Sampling	Monitoring Temperatur (°C)
1	48,44	4500	50,15
500	48,27	5000	50,33
1000	48,86	5500	50,04
1500	46,25	6000	50,47
2000	46,35	6500	50,69
2500	48,06	7000	50,91
3000	48,86	7500	51,06
3500	49,57	8000	51,09
4000	50,04	8500	51,28

Pada kurva gambar 4.20 menyajikan bahwasanya suhu berkencenderungan naik ketika baterai mengalami *discharge*. Berdasarkan *data sheet* range aman suhu baterai saat *discharge* -20 sampai 60 °C. Berdasarkan data yang diperoleh, suhu masih dikatakan dalam range aman.

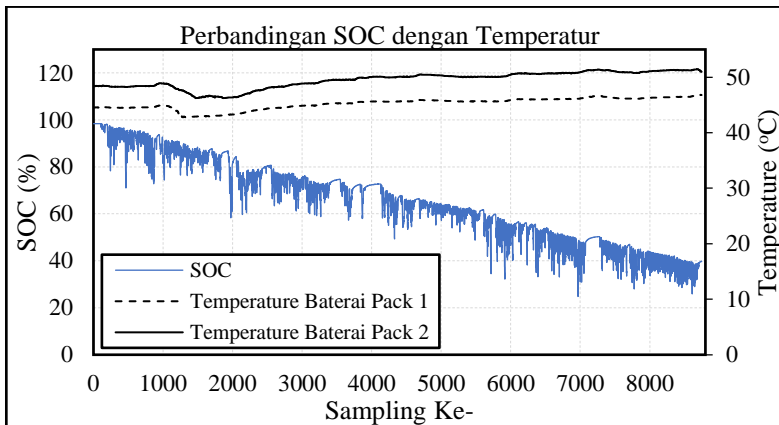


Gambar 4. 20 Hasil Temperatur Baterai

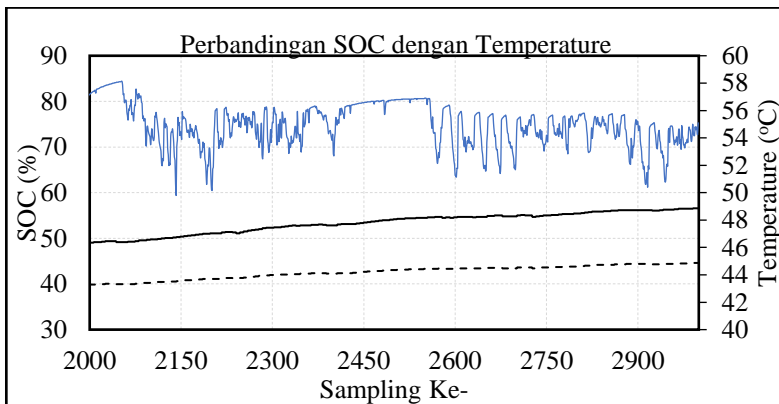
4.3.3 Analisa Perbandingan SOC dengan Temperatur

SOC merupakan salah satu faktor yang berpengaruh akan perubahan suhu pada baterai. Kenaikan suhu dipengaruhi adanya perpindahan energi pada saat *discharge*. Selama proses *discharge* baterai mensuplai motor untuk berputar.

Pada gambar 4.21 tersajikan gambar grafik perbandingan temperatur dengan SOC. Dimana suhu naik saat SOC semakin menurun, menurunnya SOC menunjukan bahwa baterai sedang mensuplai beban dan ada energi yang hilang salah satunya berubah menjadi panas. Pada gambar 4.22 dimana kondisi SOC pada 80% turun hingga kondisi 75% terjadi kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur pada baterai pack 1 dan baterai pack 2 terjadi kenaikan setinggi 1°C. Pada pengujian kali ini suhu maksimal masih di angka 51°C, untuk menanggulangi terbakarnya baterai terdapat sensor dimana ketika suhu baterai mencapai 60°C maka sistem baterai akan terputus dengan beban.



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Temperatur dengan SOC



Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Temperatur dengan SOC diperbesar

4.3.4 Hasil Monitoring Temperatur Motor

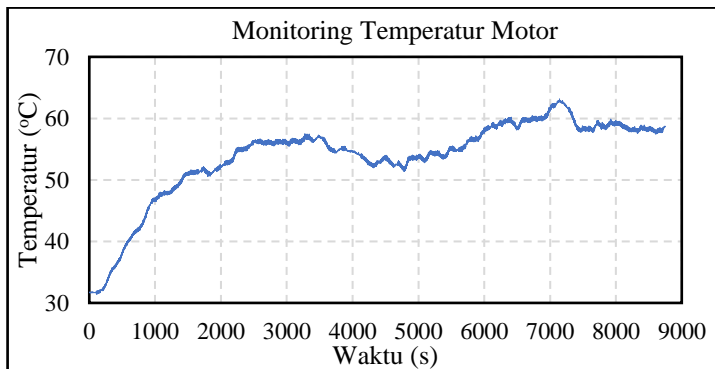
Pada motor terdapat sensor temperatur yang tujuannya untuk memonitoring suhu pada motor. Hasil monitoring temperatur terdapat pada tabel 4.9. Motor digunakan untuk secara langsung pada jalan di sekitaran kampus ITS. Dengan asumsi penggunaan *throttle* pengguna dan

pengereman dihiraukan sehingga sesuai dengan kondisi yang ada dilapangan.

Tabel 4. 9 Monitoring Temperatur Motor

Urutan Sampling	Monitoring Temperatur (°C)	Urutan Sampling	Monitoring Temperatur (°C)
1	31,69	4500	53,32
500	37,82	5000	53,98
1000	46,59	5500	54,8
1500	51,28	6000	57,84
2000	52,21	6500	58,31
2500	56,18	7000	61,85
3000	56,01	7500	58,31
3500	57,09	8000	58,92
4000	54,64	8500	58,36

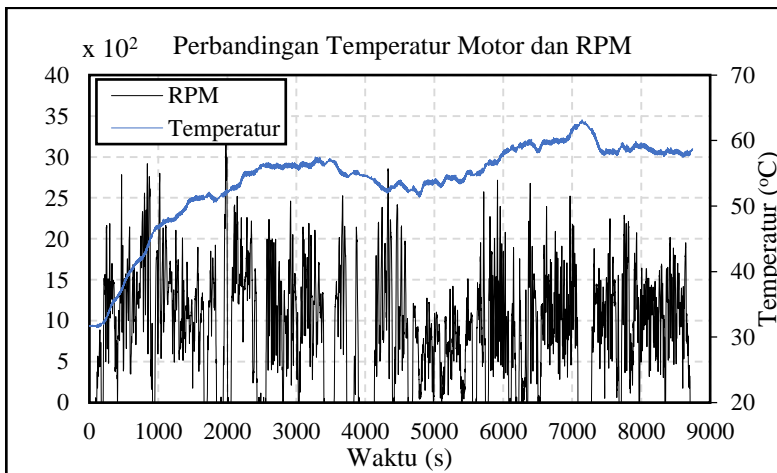
Berdasarkan gambar 4.23 temperatur dari motor berkecenderungan naik. Temperatur awal motor sebelum diuji berada pada 32 °C dengan puncak 63°C. Berdasarkan NEMA *class insulation class A* suhu maksimalnya adalah 105°C, dengan peningkatan suhu sebesar 60°C. Untuk mengamankan isolasi pada motor maka ketika suhu sudah mencapai 80°C maka *main suplay* motor akan terputus.



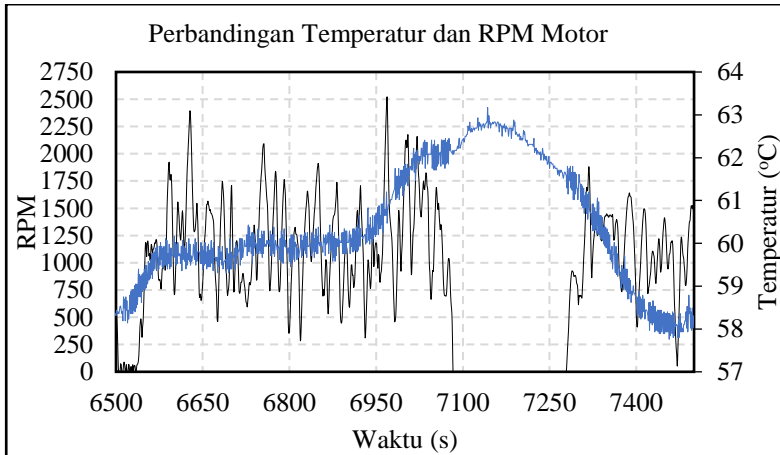
Gambar 4. 23 Monitoring Temperatur Motor

4.3.5 Analisa Perbandingan Temperatur Motor dengan RPM

RPM dari motor merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi berubahnya temperatur pada motor. Gambar 4.24 merupakan kurva perbandingan antara temperatur motor dengan RPM. Dimana ketika RPM tinggi dengan waktu yang lama maka akan menyebabkan temperatur tinggi. Begitu pula dengan sebaliknya ketika RPM turun maka selang beberapa saat suhu ikut turun seperti yang terlihat di gambar 4.21. Pada gambar 4.5 tersebut sangat terlihat ketika motor berhenti dengan indikasi RPM 0 maka selang beberapa saat temperatur motor ikut turun hingga 5°C. Puncak temperatur motor berapada pada 63°C. Temperatur berpengaruh kepada performansi motor dan cepat merusak *bearing* sehingga motor ini ada proteksi temperaturnya. Proteksi temperatur bekerja ketika motor teleh mencapai temperatur 80°C, maka motor terputus dengan sumber.



Gambar 4. 24 Perbandingan Temperatur Motor dan RPM



Gambar 4. 25 Perbandingan Temperatur Motor dan RPM diperbesar

4.4 Konsumsi Energi

Pada tugas akhir ini membahas tentang konsumsi energi yang dibutuhkan kendaraan skuter listrik GESITS. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengendarai kendaraan dengan jarak tertentu dan diakumulasi penggunaan energi selama pengujian. Dalam percobaan kali ini pengendara dianggap sebagai variabel bebas, sehingga pengendara dapat memakai *throttle* maupun rem sesuai dengan kondisi yang ada di jalan. Hal ini sehingga arus dan beban setiap pengujian berbeda-beda sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Berikut tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian.

Dari hasil pengujian maka didapat konsumsi energi rata-rata sebesar 18 km/kWH. Kapasitas baterai dari kendaraan skuter listrik GESITS 2,6 kWh, sehingga dapat diperhitungkan estimasi jarak tempuh baterai terisi secara full sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 S &= \text{Konsumsi rata - rata} \times \text{Energi} \\
 S &= 18 \text{ km/kWH} \times 2,6 \text{ kWh} \\
 S &= 46,8 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Pengujian Konsumsi Energi

No	Kapasitas Energi Awal (kWH)	Kapasitas Energi Akhir (kWH)	Pemakaian Energi (kWH)	Jarak Tempuh (km)	Konsumsi Energi (km/kWH)
1	1,57	0,66	0,92	16,8	18,31
2	1,82	1,02	0,80	17	21,28
3	1,97	0,86	1,11	17,8	16,08
4	1,37	0,91	0,46	8,6	18,53
5	1,99	1,12	0,87	17,2	19,71
6	2,62	1,40	1,22	17,2	14,10

Kendaraan sekuter listrik GESITS berdasarkan perhitungan estimasi jarak tempuh, dapat menempuh jarak sejauh 46,8 km dalam kondisi terisi penuh hingga habis. Berdasarkan tarif dasar listrik untuk pelanggan rumah tangga dengan daya 1300 VA harga per kWH listrik sebesar Rp 1.467,28, data diambil bulan September 2018. Harga listrik per kWH jika dibulatkan ke Rp 1.500 maka untuk menempuh jarak 46,8 diperlukan biaya sebesar Rp 3.900.

Pada kendaraan sekuter Honda All new Beat konsumsi energi 58 km/liter. Pada tabel 4.6 terdapat daftar harga Bahan Bakar Minyak (BBM) yang dikeluarkan oleh Pertamina pada Desember 2018 untuk daerah Jawa Timur. Pada kali ini membandingkan biaya yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 100 km pada kendaraan sekuter listrik GESITS dan Honda All New Beat. Hasil perhitungan perbandingan terdapat pada tabel 4.12.

Tabel 4. 11 Harga Bahan Bakar Minyak (BBM)

No	Jenis Bahan Bakar Minyak (BBM)	Harga (per liter)
1	Pertamax Turbo	Rp 12.250
2	Pertamax	Rp 10.400
3	Pertalite	Rp 7.800
4	Premium	Rp 7.000

Tabel 4. 12 Perbandingan GESITS dengan Motor Konvensional

No	Kendaraan		Jenis Bahan Bakar	Jarak (km)	Konsumsi Energi	Energi yang dibutuhkan	Biaya yang dibutuhkan
1	GESITS		Listrik	100	18 km/kWH	5,56 kWH	Rp 8.333
2	All Beat	New	Premium	100	58 km/liter	1,72 liter	Rp 12.040
3	All Beat	New	Pertalite	100	58 km/liter	1,72 liter	Rp 13.416
4	All Beat	New	Pertamax	100	58 km/liter	1,72 liter	Rp 17.888
5	All Beat	New	Pertamax Turbo	100	58 km/liter	1,72 liter	Rp 21.070

Berdasarkan tabel 4.12 dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk sisi biaya yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 100 km GESITS paling murah. Dimana jika untuk menempuh 100 km GESITS dapat lebih hemat Rp 12.737 daripada bahan bakar pertmax turbo. Sedangkan dengan bahan bakar pertamax GESITS lebih hemat Rp 9.555, GESITS juga lebih hemat Rp 13.416 dari bahan bakar pertalite, dan juga hemat Rp 3.707 dari bahan bakar premium. Sehingga dapat disimpulkan bahwa GESITS merupakan salah satu terobosan kendaraan yang sangat hemat biaya dari segi kebutuhan energi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini telah didesain sistem monitoring dan identifikasi kerusakan pada baterai dan motor BLDC untuk aplikasi skuter listrik. Desain terdiri dari konfigurasi *hardware* dan *software*.

1. Desain Sistem monitoring tegangan baterai pack, arus baterai dan RPM motor dapat bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian untuk eror maksimal pada pengujian arus baterai adalah 2,17%, untuk pengujian tegangan besar eror maksimalnya adalah 0.09%, dan untuk pengujian RPM nilai eror maksimal adalah 1,07%. Dimana nilai eror tersebut masih dapat ditoleransi.
2. Ballancing cell merupakan tindakan untuk mencegah kerusakan pada baterai yang terdiri dari susunan cell. Dimana perbedaan tegangan cell dapat membuat *life time* dari baterai menurun dan cepat rusak. Ballancing cell ini bekerja jika terdapat selisih antara maksimum cell dengan minimum cell berada di angka 10% selama 1 menit. Pada pengujian nilai unbalance cell maksimum mencapai 12% tetapi berada dibawah 1 menit sehingga tidak terjadi ballancing cell. Dengan rata-rata unbalance cell sebesar 8,4%
3. Berdasarkan NEMA *class insulation class A* temperatur maksimalnya adalah 105°C, dengan peningkatan temperatur sebesar 60°C. Dimana pada motor BLDC GESITS ini diatur dimana jika temperatur mencapai 80 °C maka motor akan terputus dengan *main contactor*. Pada pengujian temperatur maksimum mencapai 63 °C, dimana nilai tersebut masih aman.
4. Pada pengujian konsumsi energi GESITS secara rata-rata dapat menempuh jarak 18 km per kWh. Dengan kapasitas baterai 2,6 kWh dalam kondisi baterai penuh hingga habis dapat menempuh jarak sejauh 46,8 km. Untuk biaya yang dikeluarkan untuk menempuh jarak 100 km adalah Rp 8.333 dimana dengan asumsi harga listrik per kWh Rp 1.500.

5.2 Saran

Penelitian ini merupakan tentang monitoring dan identifikasi kerusakan pada baterai dan motor BLDC. Dimana sensor dari pengukuran harus sering dilakukan *maintenance* dan kalibrasi agar nilai akurasi masih tetap tinggi.

Pada penelitian untuk unballance cell diharapkan menggunakan metode *active ballancing cell*, tidak menggunakan *passive ballancing cell* dimana *passive ballancing cell* dibuang pada resistor yang menghasilkan panas dan membuat papan dari BMS temperaturnya ikut naik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Anshory, I. Robandi, and Wirawan, "Monitoring and optimization of speed settings for Brushless Direct Current (BLDC) using Particle Swarm Optimization (PSO)," *Proc. - 2016 IEEE Reg. 10 Symp. TENSYP 2016*, pp. 243–248, 2016.
- [2] "Fault Diagnosis of In-wheel BLDC Motor Drive for Electric Vehicle Application," *IEEE Intell. Veh. Symp. Gold Coast, Aust.*, vol. IV, Jun. 2013.
- [3] J. Zhao and Y. Yangwei, "Brushless DC Motor Fundamentals," *MPS, Futur. Analog IC Technol.*, no. AN047, pp. 1–19, 2011.
- [4] P. Agarwal and A. Bose, "Brushless Dc Motor Speed Control Using Proportional-Integral And Fuzzy Controller," vol. 5, no. 5, pp. 68–78, 2013.
- [5] SlideShare, "Electrical Drive lecture 1b notes for HD in Electrical Engineering. Brushless Motors," *SlideShare*, vol. 12, no. 10, pp. 1–14, 2009.
- [6] T. J. E. Miller, "T. J. E. Miller-Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives (Monographs in Electrical and Electronic Engineering) -Oxford University Press, USA (1989).pdf." .
- [7] Panasonic, "Datenblatt Lithium Ion NCR18650PF," p. 1, 2016.
- [8] J. Kamp, "Final Design Report: CAN Lighting System," no. May, p. 64, 2015.
- [9] T. R. Insulation, "Application Guideline # 05 Temperature Rise – Insulation," vol. 05, 2017.
- [10] V. Siliconix, V. V Ds, and P. W. M. Optimized, "Mosfet Product Summary," no. V, pp. 1–7.
- [11] P. Module, "Full-Text," *Hc-05 Bluetooth to Ser. port Modul.*, pp. 1–13, 2010.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

1. Listing program Komunikasi

```
void BtSerial::btReadSocket()
{
    static unsigned char parserState;
    static uint8_t index;
    unsigned char dataChar;
    QByteArray dataArray;
    QString buffer;
    dataArray = btSocket->readAll();

    for (int i = 0; i < dataArray.length();
i++)
    {
        dataChar = dataArray[i];
        switch (parserState)
        {
            case 0:
                if (dataChar == '(')
                {
                    parserState = 1;
                    serialPacketBlockIndex =
0;

                    index = 0;
                    buffer.clear();
                    dataAvailable = false;
                    serialBuffer.clear();
                }
                break;
            case 1:

                serialPacketBlock[serialPacketBlockIndex] =
ascii_to_hex(dataChar) << 4;
                    parserState = 2;
                    break;
            case 2:
                if (dataChar == ')')
                {
```

```

        for (int i=0;
i<serialPacketBlockIndex; i++)

serialBuffer.append(QString::number(serialPac
ketBlock[i],16));

        dataAvailable = true;
        for (int i=0;
i<serialPacketBlockIndex; i++)
            serialPacketBlock[i]
= ' ';

        parserState = 0;

serialBuffer.fromLatin1("qwerty");
        emit readyRead();
        return;
    }
    else if (dataChar == ' ')
        parserState = 1;
    else
    {

serialPacketBlock[serialPacketBlockIndex] |=
ascii_to_hex(dataChar);
        serialPacketBlockIndex++;
        index++;
        parserState = 2;
    }
    break;
default:
    parserState = 0;
}
}

}

unsigned char BtSerial::ascii_to_hex(unsigned
char data)
{
    if ((data >= '0') && (data <= '9' )) {
        // Numbers (0-9)
        data -= '0';

```

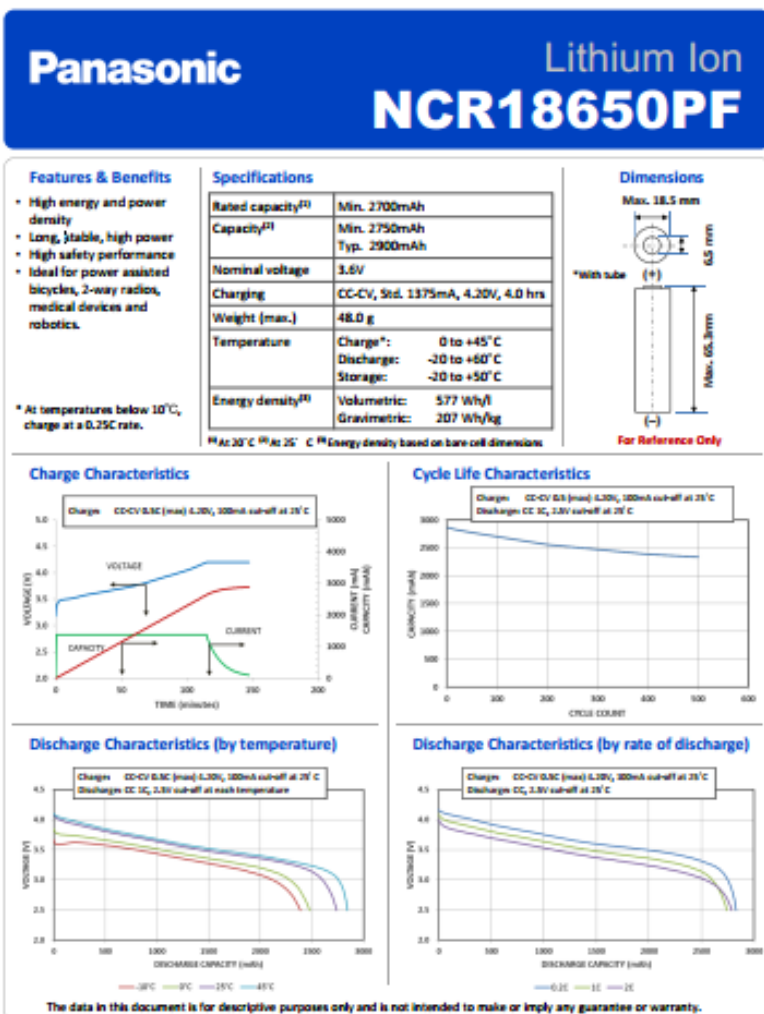
```

        } else if ((data >= 'A') && (data <= 'F'
)) {
            // Uppercase (A-F)
            data = data - 'A' + 10;
        } else if ((data >= 'a') && (data <= 'f'
)) {
            // Lowercase (a-f)
            data = data - 'a' + 10;
        } else {
            // Illegal
            data = 0;
        }

return data;}

```

2. Data Sheet Baterai



Jun. 2016 | Copyright© 2016 All Rights Reserved.

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rizal Hardiyanto. Penulis lahir di Madiun pada tanggal 23 Mei 1996. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Banjarejo Madiun pada tahun 2008. Penulis juga telah menyelesaikan pendidikan jenjang SMP di SMPN 2 Madiun pada tahun 2011, jenjang SMA di SMAN 1 Kota Madiun pada tahun 2014. Penulis tengah melanjutkan studi kuliah di program S1 Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, ITS Surabaya. Penulis memiliki hobby bermain bulu tangkis dan membaca buku. Penulis dapat dihubungi melalui email rizalhardiyanto16@gmail.com.